

O DESAFIO DE ABASTECIMENTO DESCENTRALIZADO DE ÁGUA: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DESSALINIZAÇÃO POR ENERGIA SOLAR

Estudo de Caso: Ilha da Culatra

Telma Filipa Aires Branco

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientador: Engenheiro David Pereira Loureiro

Co-orientador: Professora Doutora Rita do Amaral Fragoso

Júri:

Presidente - Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais - Doutor Olívio Godinho Patrício, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

- Engenheiro David Pereira Loureiro, Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P

"Aproveitem a vida e ajudem-se uns aos outros.

Apreciem cada momento.

Agradeçam e não deixem nada por dizer, nada por fazer"

António Feio

Agradecimentos

À minha mãe, por ter sido a mulher e mãe que foi e pelo amor incondicional. Sei que nada te ia deixar mais orgulhosa do que a conclusão desta etapa, e embora não a possas presenciar sei que estás sempre comigo.

Ao meu pai, pelo amor, pelo apoio, por não deixar que nada me falte, por rir e chorar comigo e por ser o meu pilar. Obrigada por seres o melhor pai do Mundo.

Ao meu irmão, por ser meu amigo, por me aturar e por me ensinar todos os dias a ter um pouco mais de calma.

Aos meus avós, pelo exemplo de vida que foram e por me ensinarem que nem sempre é fácil.

À minha madrinha, pela preocupação, pelo carinho e por ser como uma segunda mãe.

Às minhas primas, pela amizade, por todos os momentos que já passámos, e acima de tudo por serem como umas irmãs para mim.

A todos os meus familiares, que mesmo distantes, sempre me apoiaram.

Ao meu namorado, pelo amor, pela eterna paciência, por me apoiar. Obrigada por me conseguires sempre fazer rir.

À Susana, Patrícia, Melanie, Tânia e Sara, pela eterna amizade. Obrigada pelos momentos de diversão e pelo apoio nos momentos mais difíceis, ao longo de todos estes anos.

À Ângela, por ser a minha companheira. Obrigada pela amizade, pelas aventuras e por me fazeres sentir que não estou sozinha.

A todos os restantes colegas, pelos momentos de diversão e de trabalho ao longo destes anos.

Ao Diogo, Sofia, Cátia, Débora e Nasser, pelo companheirismo. Obrigada por tornarem a minha primeira experiência profissional mais fácil e pela boa disposição que proporcionam sempre.

Ao Engenheiro David Loureiro, por ter aceitado o desafio. Obrigada pela paciência, e por todos os ensinamentos transmitidos, como profissional e pessoa.

À Dra. Rita Fragoso, pelo apoio prestado na realização deste trabalho, e pelo discernimento neste caminho que nem sempre foi fácil.

À Prof. Elizabeth Duarte, por todo o conhecimento transmitido ao longo desta jornada pelo ISA, por estar sempre disponível, e por me tentar manter com os pés assentes na terra.

À Engenheira Helena Lucas das Águas do Algarve, por toda a disponibilidade e informações fornecidas no decorrer deste trabalho.

A todos vocês um muito obrigada por fazerem parte da minha vida, e por fazerem de mim aquilo que sou hoje.

Resumo

Fazer face à escassez de água tem sido um dos principais desafios colocados à humanidade. A dessalinização tem vindo a assumir um papel importante como uma solução alternativa de abastecimento de água, contudo o elevado consumo de energia representa a sua principal desvantagem. Uma forma de diminuir este consumo de energia, é associar a esta tecnologia a utilização de energias renováveis, tornando a dessalinização uma tecnologia ambientalmente sustentável.

Este trabalho tem como objectivos enunciar as diferentes tecnologias de dessalinização existentes, e compreender de que forma se pode conciliar estas tecnologias com energias renováveis, dando mais ênfase à tecnologia de humificação-desumificação com recurso a energia solar.

Uma vez que a dessalinização solar é mais aplicável para uma produção descentralizada de água, em pequena escala, foi realizado um estudo de caso sobre a Ilha da Culatra, fazendo o levantamento das características do local, análise de necessidades hídricas e características do clima, e com estas informações efectuou-se o dimensionamento do sistema de dessalinização por humificação-desumificação de modo a suprir parte das necessidades hídricas da comunidade, e do sistema solar térmico através do programa SolTerm, de modo a compreender em que medida este sistema pode ser uma alternativa ao actual abastecimento de água.

Palavras-chave: Dessalinização, descentralizado, autónomo, humificação-desumificação, energia solar

Abstract

Coping with water scarcity is one of the world biggest challenges, and in this sense, desalination has assumed an important role as an alternative solution for water supply. However the high energy consumption is a main drawback of this technology. The use of renewable energy as an alternative energy supply can contribute to a more environmentally sustainable desalination process.

This work aims to illustrate the different available desalination technologies, and understand how these technologies can be combined with renewable energy sources, with more emphasis on humidification - dehumidification technology using solar energy.

Since solar desalination is more applicable for decentralized production of water on a small scale, a case study was conducted on Culatra Island. This included geographical and climate characterization and, analysis of water needs. Based on this information a humidification-dehumidification desalination system was designed in order to supply part of the water needs of the community, including a solar thermal system dimensioned through the software SolTerm, in order to assess if this system can be an alternative to the existing water supply.

Keywords: Desalination, decentralized, autonomous, humidification-dehumidification, solar energy

Extended Abstract

Although our planet is known as the blue planet, for its extensive amount of water existing on the surface, only a small part of this water is available for use. This weak water availability leads to the physical scarcity of water, defined as insufficient resources to satisfy the demand. To overcome this shortage, more and more countries resort to desalination as a means of water supply.

There are two principal types of desalination processes: thermal processes, through the water distillation and membranes processes. Among the thermal processes can be distinguished the solar stills, multi-stage flash, single effect evaporation, multiple effect evaporation and humidification-dehumidification; between membrane processes, reverse osmosis and electrodialysis can be pointed out. These processes are characterized, in medium to long scale, by dependence on fossil fuels for its operation and therefore have high energy consumption. In order to reduce this dependency and energy consumption, these processes should be combined with renewable energy (solar thermal, photovoltaic, wind).

In Portugal there are two large scale desalination plants by reverse osmosis (Porto Santo and Alvor) using electricity as na energy source, not taking advantage of the potential of solar energy available.

Of the existing desalination processes, humidification-dehumidification process has received increasing attention in recent years, since this process works as an artificial version of the water cycle. Humidification-dehumidification desalination process can be classified into three categories based on the energy form used (eg solar thermal) based on the type of used heat (heating water or air), and based on the configuration of the cycle.

A practical example of desalination by humidification-dehumidification is the SelfWater prototype, developed by SelfEnergy from the research carried out by LNEG. This prototype works in closed loop air, using solar thermal energy as a solution small-scale decentralized drinking water supply and low energy consumption.

Portugal does not have a desalination plant that works with renewable energy on a small-scale, decentralized, for that reason we selected a small community of the coastal zone (Culatra Island), to evaluate the possibility of satisfying their current water needs. After geographical and climate characterization, we used the prototype SelfWater as desalination system in conjunction with solar thermal collectors as a model for the system under study. In order to perform this evaluation a dimensioning of a humidification-dehumidification desalination system, and of a solar thermal system (through the SolTerm software), was carried out, which includes the local climate, solar system configuration and estimated consumption of water, including outputs of energy analysis and environmental benefits.

For the application of desalination technology it is important to consider not only the quality of the collected water, but also to verify if the produced water meets the quality

requirements established for water for human consumption described in national regulation.

From an environmental engineer it is also important to understand the environmental impacts of desalination technologies, including the location of the installation, the brine rejection and energy consumption.

In this work economic analysis on the application of desalination technologies is not addressed and will be focused in future work.

Índice Geral

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento do tema	1
1.2.	Objectivos.....	2
1.2.1.	Objectivo global.....	2
1.2.2.	Objectivos específicos.....	2
1.3.	Estrutura da dissertação	2
2.	Estado de arte.....	3
2.1.	Escassez de água	3
2.2.	Escassez de água em Portugal	4
2.3.	Dessalinização	7
2.3.1.	Processos de dessalinização.....	8
2.3.1.1.	Processos de membrana.....	9
2.3.1.2.	Processos térmicos	10
2.4.	Sustentabilidade	13
2.4.1.	Energia solar térmica.....	14
2.4.2.	Aplicações da energia solar térmica	16
2.4.3.	Dessalinização por energia solar	17
2.5.	Instalações de dessalinização existentes	19
2.5.1.	Em Portugal.....	19
2.5.1.1.	Instalações à escala real	19
2.5.1.2.	Instalações piloto.....	21
2.5.2.	No Mundo.....	23
3.	Tecnologia de HDH para dessalinização de água do mar por energia solar.....	24
3.1.	Características físico-químicas da água do mar	24
3.1.1.	Zonas costeiras	26
3.2.	Requisitos de qualidade da água para consumo humano.....	28
3.3.	Instalação solar térmica	29
3.3.1.	Constituintes da instalação	29
3.3.2.	Considerações prévias à instalação	30
3.3.3.	Dimensionamento da instalação	31
3.3.4.	Funcionamento da instalação	32
3.4.	Processo de humidificação-desumidificação (HDH).....	32
3.4.1.	Parâmetros de performance	33
3.4.2.	Sistemas de HDH	34
3.4.2.1.	Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de água aquecida.....	34

3.4.2.2. Tecnologia HDH multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida.....	36
3.4.2.3. Tecnologia HDH de ar aberto – água fechada de água aquecida.....	36
3.4.2.4. Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de ar aquecido	37
3.5. Impactes ambientais.....	38
3.6. Projecto SelfWater – Protótipo de HDH de sistema de multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida.....	39
4. Estudo de caso	45
4.1. Selecção da zona costeira.....	45
4.1.1. Troço de costa entre Ovar e Marinha Grande.....	45
4.1.1.1. Consumos hídricos.....	49
4.1.2. Ilhas barreira Algarve.....	50
4.1.2.1. Consumos hídricos.....	54
4.2. Caracterização do clima	55
4.2.1. Temperatura.....	55
4.2.2. Precipitação.....	56
4.2.3. Radiação solar.....	57
4.2.4. Insolação	58
4.3. Dimensionamento do sistema de dessalinização por energia solar	59
4.3.1. Análise de desempenho térmico e pré-dimensionamento de uma instalação solar para dessalinização por HDH	59
4.3.2. SolTerm.....	59
4.3.3. Pressupostos do dimensionamento	60
4.3.4. Dimensionamento do sistema solar	63
4.3.5. Dimensionamento do sistema HDH	71
4.3.6. Funcionamento do sistema	71
5. Conclusões	74
6. Referências bibliográficas	76
7. Anexos	xv
Anexo I – Parâmetros biológicos da água de consumo humano.....	xv
Anexo II – Parâmetros indicadores da água de consumo humano.....	xv
Anexo III – Parâmetros químicos da água de consumo humano	xvi
Anexo IV – Cargas para todos os meses (SolTerm)	xvii

Lista de Abreviaturas

AQS – Água Quente Sanitária

AQP – Água Quente de Processo

ASADES – Associação Argentina de Energias Renováveis e Ambiente

CEDRU – Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano

CYTED – Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento

ED – Electrodialise

EIA – Estudo de Impacte Ambiental

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

GEE – Gases com efeito de estufa

GOR – Eficiência de produção de água

HDH – Humidificação-Desumidificação

IGA – Investimentos e Gestão de Água

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IPS-ESTS – Instituto Politécnico de Setúbal – Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MSF – Multi Efeito Flash

OI – Osmose Inversa

ONU – Organização das Nações Unidas

PNRF – Parque Natural da Ria Formosa

POOC OMG – Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar – Marinha Grande

PRODES – Desenvolvimento de Energias Renováveis para Produção de água através de Dessalinização – Projecto UE

SEE – Evaporação Multi Efeito

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

WMO – World Meteorological Organization

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Capacidade instalada e evoluções do mercado e capacidade instalada.....	16
Quadro 3.1 - Composição da água do mar	25
Quadro 4.1 - Características dos municípios abrangidos.....	47
Quadro 4.2 - Consumo de água 2012.....	54
Quadro 4.3 – Cálculo da carga	65
Quadro 4.4 – Comparação das duas configurações	70

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Distribuição de água no planeta	3
Figura 2.2 - Disponibilidade de água <i>per capita</i>	4
Figura 2.3 - Volume de água consumida por sector	5
Figura 2.4 - Índice de seca meteorológica em 2012	6
Figura 2.5 - Situação das bacias hidrográficas em 2012	6
Figura 2.6 - Ciclo da água	7
Figura 2.7 - Crescimento actual e projectado da produção de água dessalinizada a nível mundial.	7
Figura 2.8 - Distribuição mundial das instalações de dessalinização.	8
Figura 2.9 - Processos de dessalinização	9
Figura 2.10 - Dessalinização por Osmose Inversa	9
Figura 2.11 - Princípio da electrodialise	10
Figura 2.12 - Destilação solar.	11
Figura 2.13 - Projecto-piloto no Yemen	11
Figura 2.14 - Destilação Multi-efeito flash	12
Figura 2.15 - Evaporação simples efeito	12
Figura 2.16 - Evaporação multi-efeito	13
Figura 2.17 - Processo de HDH	13
Figura 2.18 - Componentes da radiação solar	14
Figura 2.19 - Índice de radiação solar	15
Figura 2.20 - Insolação e radiação solar anual	15
Figura 2.21 - Capacidade instalada e evoluções do mercado	16
Figura 2.22 - Aplicações da Energia Solar Térmica	17
Figura 2.23 - Uso de fontes de energia renováveis na dessalinização	18
Figura 2.24 - Configurações da dessalinização solar	18
Figura 2.25 - Central de dessalinização de Porto Santo	19
Figura 2.26 - Central de dessalinização do Alvor	20
Figura 2.27 - Protótipo de HDH	21
Figura 2.28 - Protótipo de HDH Flash	22
Figura 2.29 - Protótipo de destilação multi-efeito	22
Figura 3.1 - Variação da temperatura em função da latitude	24
Figura 3.2 - Variação da salinidade em função da latitude	25
Figura 3.3 - Variação da condutividade eléctrica em função da temperatura e salinidade ...	25
Figura 3.4 - Variação do pH em função da latitude	26
Figura 3.5 - Propriedades termoquímicas da água do mar	26
Figura 3.6 - Produção primária	27
Figura 3.7 - Zonas de emissários	27

Figura 3.8 - Instalação solar térmica.....	29
Figura 3.9 - Colector solar térmico.....	29
Figura 3.10 - Depósito de armazenamento de água	30
Figura 3.11 - Etapa de desenvolvimento e capacidade típica dos diferentes processos de dessalinização.....	33
Figura 3.12 - Configurações de sistemas HDH.....	34
Figura 3.13 - Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de água aquecida.....	35
Figura 3.14 - GOR e produção específica de água de diversos sistemas	35
Figura 3.15 - Tecnologia HDH multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida...	36
Figura 3.16 - Tecnologia HDH de ar aberto – água fechada de água aquecida	37
Figura 3.17 - Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de ar aquecido.....	37
Figura 3.18 - Interior da câmara dessalinizadora	40
Figura 3.19 - Câmara dessalinizadora	41
Figura 3.20 - Reservatório de água salgada	41
Figura 3.21 - Condensação	42
Figura 3.22 - Circuito primário	43
Figura 3.23 - Esquema de funcionamento do protótipo.....	44
Figura 4.1 - Área de Intervenção	46
Figura 4.2 - Volume de água captada superficial e subterrânea	49
Figura 4.3 - Consumos por sector	50
Figura 4.4 – Consumo de água em 2009.....	50
Figura 4.5 - Localização dos núcleos das ilhas.....	52
Figura 4.6 - População das ilhas da Ria Formosa	52
Figura 4.7 - Consumo de água 2012	55
Figura 4.8 - Temperatura.....	56
Figura 4.9 - Temperaturas médias.....	56
Figura 4.10 - Precipitação.....	57
Figura 4.11 - Relação entre temperatura e precipitação	57
Figura 4.12 - Radiação solar.....	58
Figura 4.13 - Insolação	58
Figura 4.14 - Circuito primário e secundário de um sistema solar.....	61
Figura 4.15 - Clima do local escolhido	63
Figura 4.16 - Configuração do sistema solar	64
Figura 4.17 - Carga (L/dia) para cada mês	65
Figura 4.18 - Relatório de análise energética	66
Figura 4.19 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga.....	67
Figura 4.20 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema de apoio e a carga.....	67
Figura 4.21 - Relatório de análise energética	68

Figura 4.22 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga	68
Figura 4.23 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema de apoio e a carga	69
Figura 4.24 - Comparação das duas configurações	70
Figura 4.25 - Layout da instalação de dessalinização	72
Figura 4.26 - Localização da instalação de dessalinização	73

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

“A água faz parte do património do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos.”

(Art.1º, Declaração Universal dos Direitos da Água, 1992)

Sem água, a Terra não teria vida. Toda a vida no nosso planeta depende da água, nenhum de nós poderia sobreviver sem ela (FAO, 2013).

A água é vital para a existência humana, e essencial para o desenvolvimento económico, social e ambiental, e por muitos milhares de anos, subsistiu a ideia de que a água era um recurso infinito. Contudo tem-se vindo a tomar consciência que a água, embora seja um recurso renovável, é também um recurso limitado, devido ao crescimento da população, mudança do estilo de vida, poluição e uso ineficiente da água, limitando o acesso em quantidade e qualidade em algumas regiões do planeta.

“Muitas pessoas tomam a água como certa: abrem a torneira e sai água. Ou vão ao supermercado, onde podem escolher entre dúzias de marcas de água engarrafada. Mas para mais de mil milhões de pessoas no nosso planeta, a água pura está fora do seu alcance” (Kofi Annan, Secretário-Geral das Nações Unidas, 2006).

Para chamar a atenção da sociedade civil, assim como empresas e governos para este facto, no sentido de tentar melhorar os índices de acesso à água potável e ao saneamento básico em todo o mundo, a ONU declarou, em Dezembro de 2010, o ano de 2013 como o Ano Internacional da Cooperação pela Água, tendo já declarado o ano de 2012 como o Ano Internacional da Energia Sustentável Para Todos. O objectivo é aumentar a consciência sobre os desafios da gestão, acesso e distribuição deste recurso, cada vez mais escasso no planeta.

A dessalinização – remoção de sais presentes na água do mar, permitindo a produção de água potável – tem-se demonstrado como uma alternativa viável em alguns países como meio de fornecimento de água potável para muitas comunidades, através de sistemas de larga escala.

O tema deste trabalho teve como base o facto de em Portugal, apesar de já existirem algumas instalações de dessalinização de larga escala, ser ainda pouco desenvolvida e divulgada a alternativa de pequena escala. Por isso, o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo, descentralizadas e de pequena escala que utilizem recursos renováveis de energia para suprir as necessidades de pequenas comunidades próximas da costa, poderá

constituir uma solução promissora. No entanto, devem ser asseguradas as questões de sustentabilidade ambiental do abastecimento e de rentabilização do recurso renovável.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo global

O objectivo global deste trabalho é avaliar o potencial da dessalinização por energia solar, através da tecnologia de humificação-desumificação, como alternativa de fornecimento de água potável de pequena escala na Ilha da Culatra, como uma solução sustentável e economicamente viável, de modo a melhorar a qualidade de vida da população.

1.2.2. Objectivos específicos

- Compreender o sistema de abastecimento da Ilha da Culatra
- Analisar os consumos de água *per capita* na ilha
- Avaliar o potencial da dessalinização como alternativa de abastecimento
- Efectuar o pré-dimensionamento do sistema de água quente para o sistema de dessalinização, através do programa SolTerm
- Compreender se este sistema é uma alternativa viável
- Compreender quais as vantagens e desvantagens da utilização desta tecnologia

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução: refere-se ao enquadramento do tema, bem como aos objectivos global e específicos.
- Capítulo 2 – Estado de arte: exposição do tema com base em publicações efectuadas até à data, de modo a fundamentar o conteúdo deste trabalho.
- Capítulo 3 – Tecnologia: descrição das tecnologias de dessalinização, dando mais ênfase à tecnologia de humificação-desumificação, e exposição de um projecto que utiliza esta tecnologia.
- Capítulo 4 – Estudo de caso: caracterização do local de estudo, e avaliação do seu potencial para instalação de um sistema de dessalinização, bem como simulação de dimensionamento de um sistema de dessalinização com recurso a energia solar.
- Capítulo 5 – Conclusões: apresentação das conclusões deste trabalho.

2. Estado de arte

2.1. Escassez de água

De acordo com a FAO (2007), o nosso planeta é constituído por 25% de superfície terrestre e os restantes 75% de água. Da totalidade de água existente, 97,5% é água salgada e apenas 2,5% é água doce. Como se pode observar na figura destes 2,5% de água doce apenas 0,4% é superficial, 30,1% é água subterrânea e cerca de 68,7% da água existente encontra-se no estado sólido (figura 2.1). Portanto, grande parte da água existente não se encontra disponível para utilização.

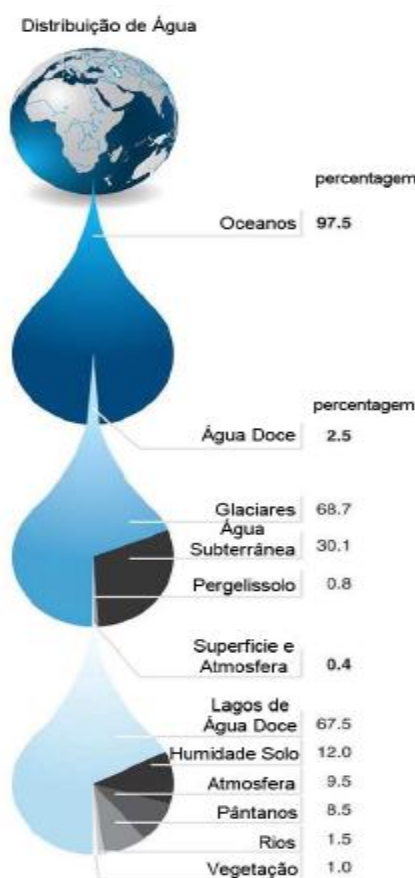


Figura 2.1 - Distribuição de água no planeta (Araújo, A.C.S.P.A., 2013).

Existem várias definições para o conceito de escassez de água, sendo em geral, definida como o ponto em que o impacto total de todos os utilizadores colide com o fornecimento ou a qualidade da água na medida em que a procura por todos os sectores, incluindo o ambiente, não podem ser totalmente satisfeitas (Coping With Water Scarcity, 2007).

Embora o crescimento da população mundial seja o factor chave no que se refere à disponibilidade de água e seu uso, há outros factores a considerar. Por exemplo, o desafio

colocado pelas alterações climáticas, resultando em mudanças nos regimes de chuvas, ameaçando as águas superficiais e a regularidade da recarga de aquíferos, e a contaminação destes pela expansão das áreas urbanas, são outros factores que contribuem para tornar a escassez de recursos hídricos, uma realidade (Vital Water Graphics, 2008).

Estima-se que em 2025 mais de 3 mil milhões de pessoas poderão viver em países sujeitos a pressão sobre os recursos hídricos e 14 países irão passar de uma situação de pressão sobre os recursos hídricos para uma escassez efectiva (Relatório de Desenvolvimento Humano, 2006).

Como se pode observar na figura 2.2, a disponibilidade de água *per capita* tem vindo a diminuir ao longo dos anos, sendo este declínio mais acentuado nos países em desenvolvimento. Pode também observar-se que a população das regiões mais desenvolvidas tende a estabilizar, mas a população das regiões menos desenvolvidas deverá aumentar (World Population Prospects, 2010).

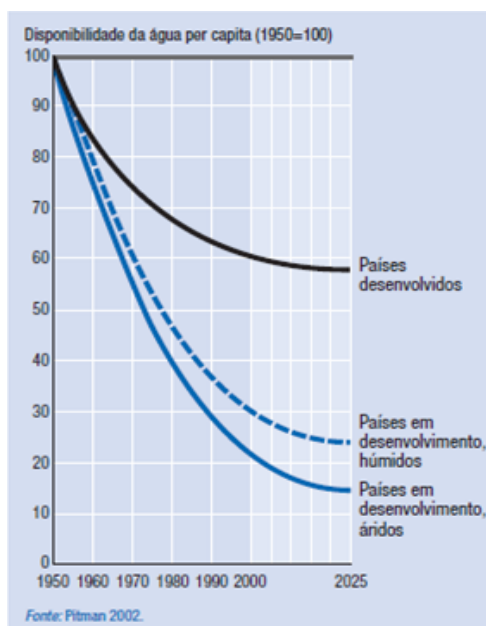


Figura 2.2 - Disponibilidade de água *per capita* (Relatório de Desenvolvimento Humano, 2006).

2.2. Escassez de água em Portugal

Portugal, com cerca de 10 milhões de habitantes em 2011, apresenta um consumo médio de água potável (doce) a rondar os 7500 milhões m³, no conjunto dos três sectores: urbano, agrícola e industrial. O sector agrícola é, em termos de volume, o maior consumidor (>80%), como se pode observar na figura 2.3.

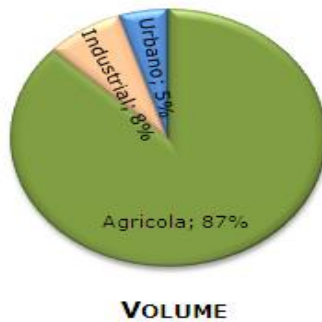


Figura 2.3 - Volume de água consumida por sector (Portal da Água, 2013).

Em Portugal, 94% da população portuguesa é servida por sistemas públicos de abastecimento de água, e na eventualidade de haver um problema no sistema de abastecimento a jusante de um reservatório, em geral é possível manter o abastecimento de água às populações durante pelo menos dois dias. Todas as zonas de Portugal continental têm, em média, uma capacidade de reserva acima do recomendado, sendo maior na zona Norte, com cerca de 2,3 dias, e menor na zona Sul (Alentejo e Algarve), com cerca de 1,8 dias (ERSAR, 2013).

Embora Portugal não apresente grandes dificuldades nos sistemas de abastecimento de água, a escassez dos recursos hídricos, provocada pelo aumento da temperatura, motivado pelos efeitos do aquecimento global, irá afectar gravemente as reservas de água.

As situações de seca são frequentes em Portugal Continental, com consequências desastrosas nos recursos hídricos e no bem-estar das populações, sendo que a mais recente ocorreu em 2005, em que grande parte do território esteve entre 7 e 9 meses consecutivos em situação de seca severa e extrema (Pires, V., *et al* 2010). Já em Abril de 2012, embora a situação de seca não fosse tão grave, grande parte do território encontrava-se em situação de seca severa e moderada, como se pode observar na figura 2.4.

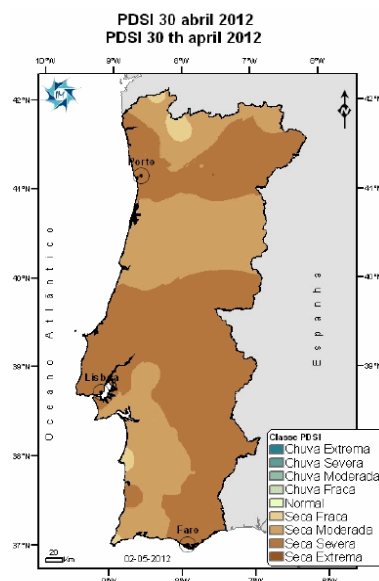


Figura 2.4 - Índice de seca meteorológica em 2012 (IPMA, 2012).

Isto também se reflecte nas bacias hidrográficas, que em 2012 apresentavam valores abaixo da média, como apresentado figura 2.5.

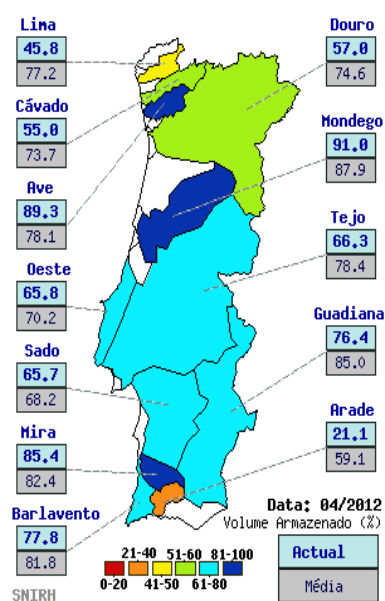


Figura 2.5 - Situação das bacias hidrográficas em 2012 (SNIRH, 2012).

Por estas razões, começa a ser necessário equacionar-se a água salgada, devidamente tratada, como recurso viável para consumo humano, tirando proveito da costa marítima Portuguesa com cerca de 850 km.

2.3. Dessalinização

A Natureza usa a energia solar para dessalinizar a água do mar através do ciclo da água. No ciclo da água, a água do mar é aquecida pela irradiação solar e humidifica o ar que funciona como portador do vapor. Posteriormente o ar humidificado sobe e forma nuvens, as quais “desumidificam” sob a forma de chuva (Narayan, G.P., *et al*, 2010).

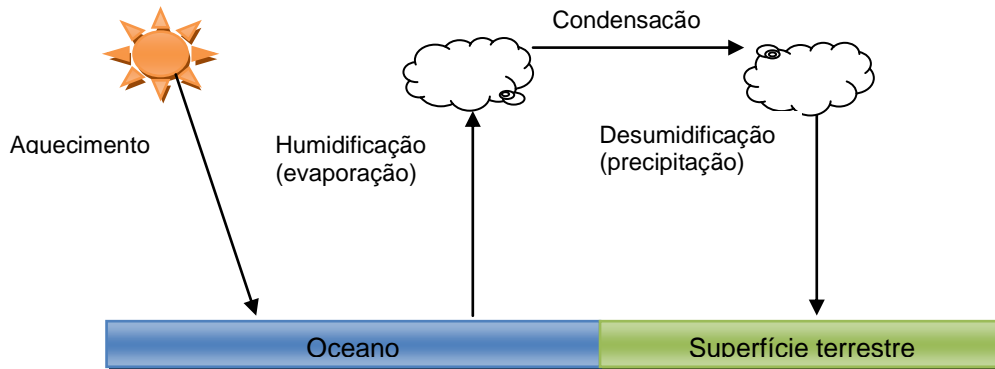


Figura 2.6 - Ciclo da água (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

As únicas fontes quase inesgotáveis de água são os oceanos. O inconveniente principal, contudo, é a sua elevada salinidade. Portanto, seria atractivo resolver o problema de escassez de água com a dessalinização (El-Ghonemy, A.M.K., 2012).

A dessalinização, que de um modo geral, pode ser definida como a remoção dos sais da água salgada ou salobra, é cada vez mais uma solução competitiva e sustentável para fornecer água potável em muitos países (Shatat, M., *et al*, 2013).

Como se pode observar na figura 2.7, a capacidade mundial instalada para produção de água dessalinizada é actualmente cerca de 80 Mm³/dia e está previsto que em 2015 seja aproximadamente 90,5 Mm³/dia.

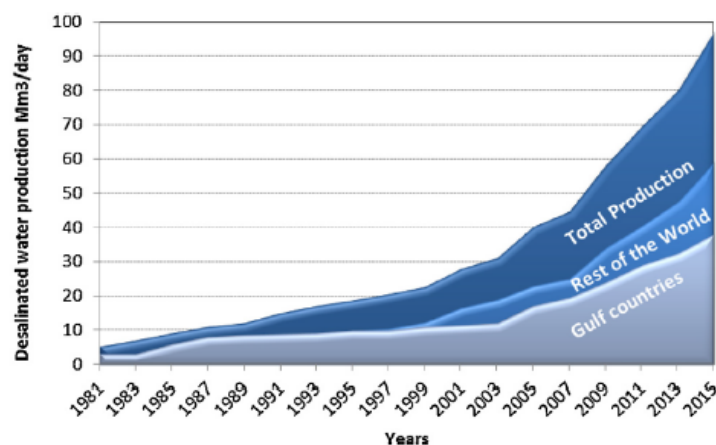


Figura 2.7 - Crescimento actual e projectado da produção de água dessalinizada a nível mundial (Shatat, M., *et al*, 2013).

Como ilustrado na figura 2.8, a maioria das instalações de elevada capacidade de produção situam-se no Médio Oriente, sendo que a dessalinização da água do mar na região do Golfo representa 65% da capacidade mundial de dessalinização devido à abundância das maiores reservas de petróleo do mundo, com uma aguda escassez de recursos de água potável (Shatat, M., *et al*, 2013).

No entanto, cada vez mais regiões estão a explorar o uso da dessalinização como uma fonte potencial de fornecimento de água. Actualmente, em países como a Austrália, China e até em zonas costeiras da Califórnia esta tecnologia encontra um lugar de destaque. É possível verificar que na Europa do Sul há mais instalações de dessalinização relativamente à Europa do Norte, sendo a maior parte a partir da água do mar para toda a Europa.

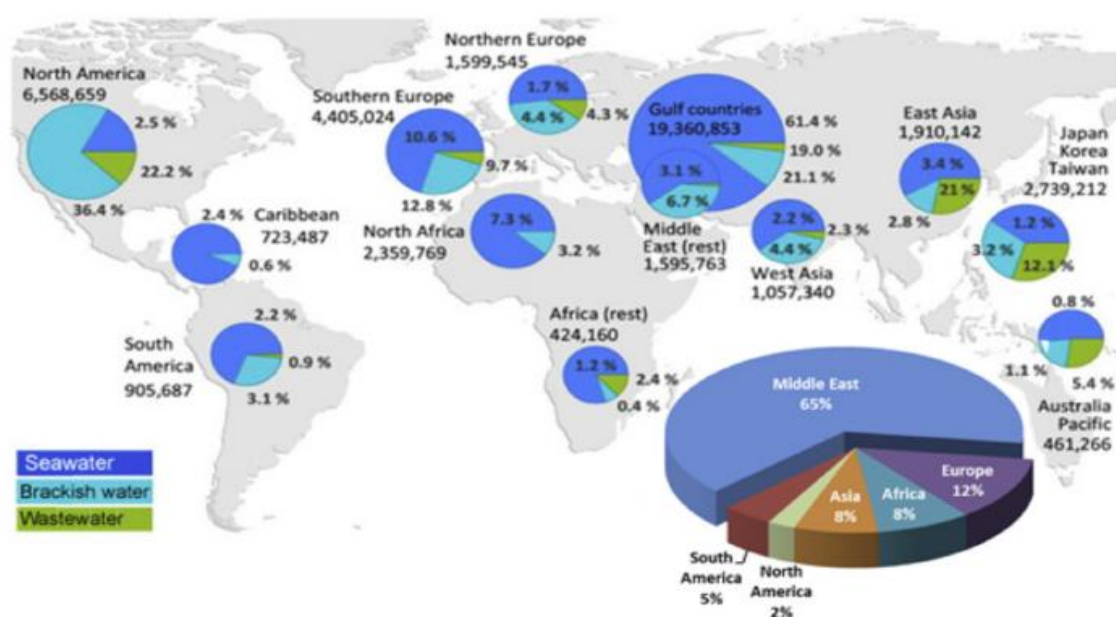


Figura 2.8 - Distribuição mundial das instalações de dessalinização (Shatat, M., *et al*, 2013).

2.3.1. Processos de dessalinização

A dessalinização da água salgada ou salobra pode ser realizada principalmente através de dois processos de separação a água doce a partir da água salgada: através de membranas ou por via térmica.

O processo de membranas, utiliza uma membrana relativamente permeável que permite que as moléculas de água passem através dela, mas, simultaneamente, impede a passagem de moléculas maiores, tais como sais.

Nos processos térmicos, a destilação da água salgada é realizada com recurso a uma fonte de calor, que pode ser obtida através da utilização de combustíveis fósseis ou de energia solar ou geotérmica (El-Ghonemy, A.M.K, 2012).

Na figura 2.9 apresenta-se um esquema resumo dos processos alternativos para a dessalinização.

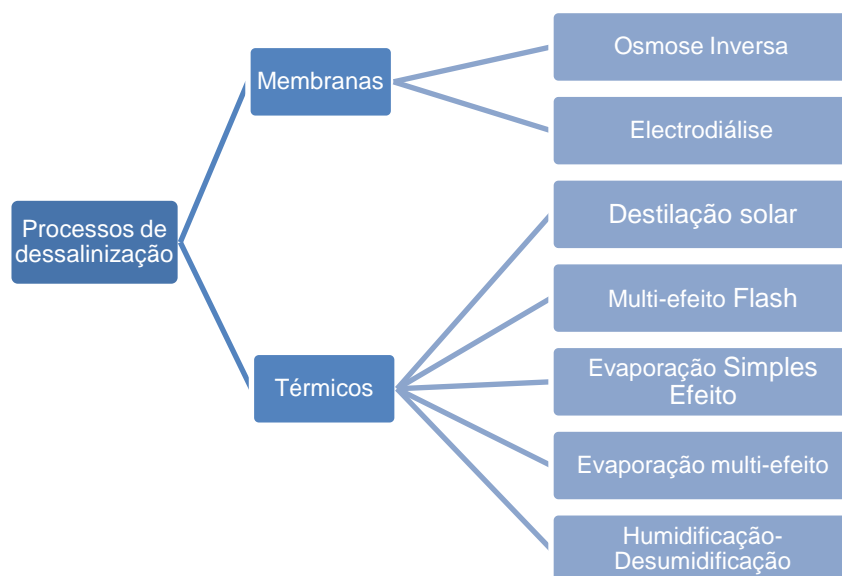


Figura 2.9 - Processos de dessalinização (adaptado de El-Dessouky, H.T., e Ettoney, H.M., 2002)

2.3.1.1. Processos de membrana

- **Osmose Inversa**

O processo de OI consiste na separação de sais presentes na água através de um efeito de pressão superior à pressão osmótica (através de uma bomba de alta pressão), sobre uma membrana semi-permeável, em que a água atravessa a membrana, enquanto os minerais ficam retidos (figura 2.10).

Este processo ocorre à temperatura ambiente, no entanto não se efectua se não houver energia eléctrica para activar os dispositivos que vão conferir a pressão mecânica necessária.

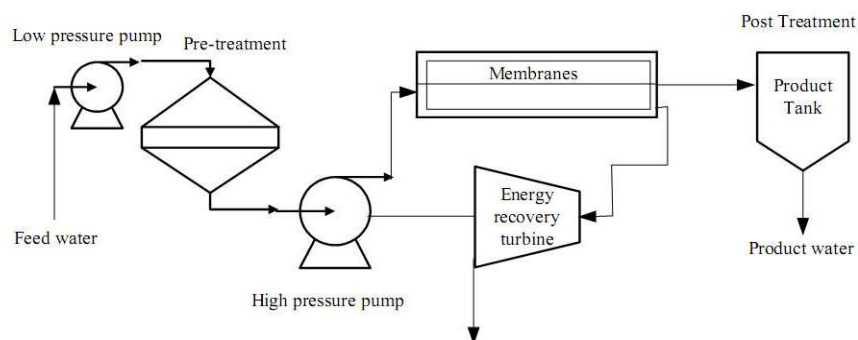


Figura 2.10 - Dessalinização por Osmose Inversa (Semiat, R., 2000).

- **Electrodiálise**

A ED consiste na aplicação de uma força electromotriz nos eléctrodos que se encontram em ambos os lados de uma membrana com o objectivo de separar os sais que se encontram dissolvidos na água.

A água salgada contém sais dissolvidos separados em sódio, carregado positivamente e cloro, carregado negativamente, os iões positivos movem-se para o eléctrodo negativo e os iões negativos para o eléctrodo positivo. As células onde se processa a ED, são compostas estruturalmente por membranas catiónicas, membranas aniónicas e espaçadores que permitem a passagem de água. Posteriormente, as células são colocadas em grupos juntamente com os eléctrodos, de acordo com as necessidades do sistema (figura 2.11).

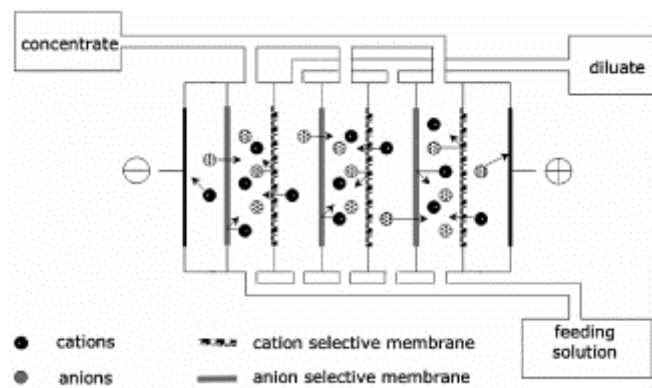


Figura 2.11 - Princípio da electrodiálise (http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-50532002000400021&script=sci_arttext).

2.3.1.2. Processos térmicos

- **Destilação Solar (Solar Stills)**

É a forma mais simples de dessalinização. A radiação solar é absorvida sob a forma de calor numa superfície em contacto com a água salgada. A água é aquecida e parcialmente evaporada, e este vapor de água condensa-se sobre o cone de plástico transparente, que está a uma temperatura mais baixa devido ao contacto com o ar ambiente, e é recolhido numa caixa ou compartimento para o efeito (figura 2.12).

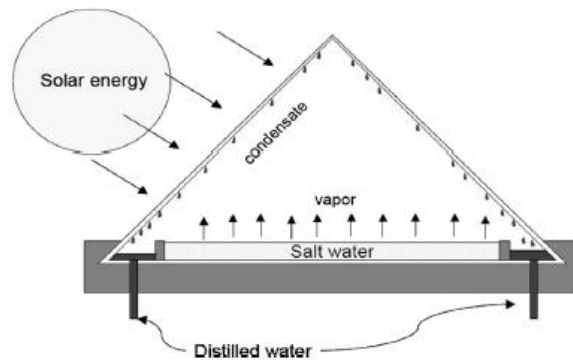


Figura 2.12 - Destilação solar (Shatat, M. *et al*, 2013).

Um exemplo de um sistema deste tipo é o Watercone, da Mage Water Management que fundou um projecto-piloto no Yemen (figura 2.13), com uma produção de 1,7 L/dia.



Figura 2.13 - Projecto-piloto no Yemen (Mage Water Management, 2013).

- **Multi-efeito flash (Multi-Stage flash)**

É um processo que consiste numa sequência de estágios ao longo dos quais a temperatura e pressão vão diminuindo. Como apresentado na figura 2.14, a água salgada entra em circulação através de tubos aquecidos por vapor, fazendo com que esta aqueça e se vaporize. O vapor de água condensa-se e a água é recolhida no exterior. A salmoura passa para o seguinte estágio onde o mesmo processo ocorre a temperatura inferior, e assim sucessivamente até que a salmoura atinja elevados valores de concentração.

Através do fraccionamento diferencial da temperatura global entre a fonte quente e a água do mar num grande número de fases, o sistema maximiza a recuperação de calor latente total (El-Ghonemy, A.M.K, 2012).

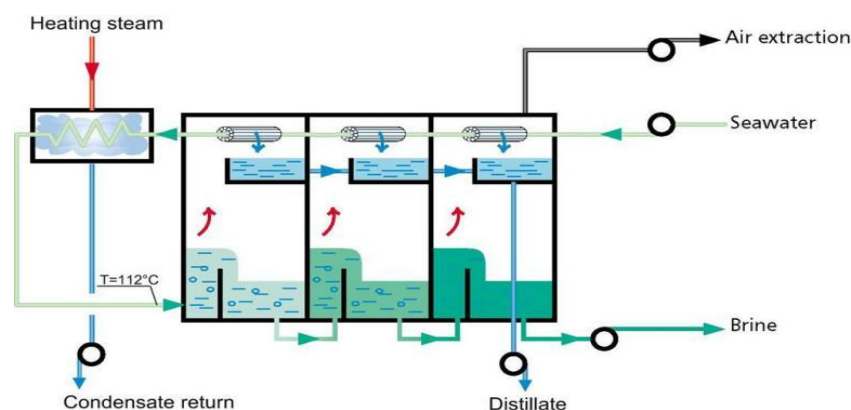


Figura 2.14 - Destilação Multi-efeito flash (<http://www.sidem-desalination.com/en/Process/MSF/>)

- **Evaporação simples efeito (Single Effect Evaporation)**

Neste processo, a água salgada à temperatura ambiente entra no condensador, no qual é aquecida. Posteriormente segue para o evaporador onde é pulverizada no topo do mesmo. Uma vez que no evaporador circula vapor aquecido, a água pulverizada aquece e evapora, sendo este vapor de água transferido para o condensador, e depois recolhido como água doce. A água que não evapora, é recolhida como salmoura (figura 2.15).

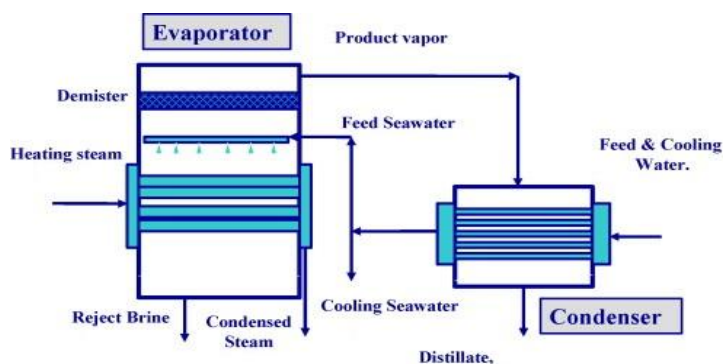


Figura 2.15 - Evaporação simples efeito (El-Naas, M., 2011).

- **Evaporação multi-efeito (Multiple Effect Evaporation)**

Este processo é igual ao processo mencionado acima, com a diferença que a água que não evapora em vez de ser imediatamente recolhida como salmoura, é bombada para o “efeito” seguinte, repetindo o mesmo processo (figura 2.16).

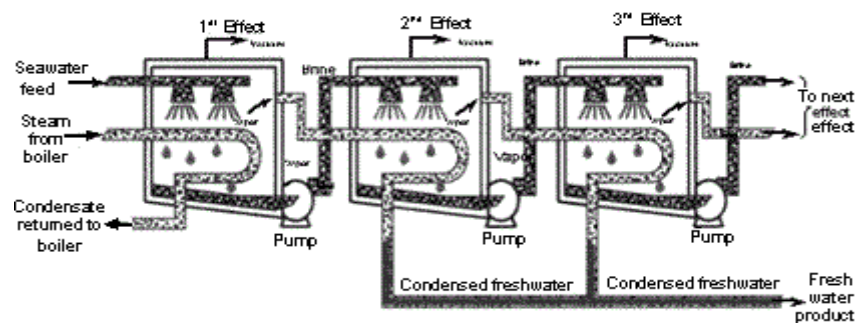


Figura 2.16 - Evaporação multi-efeito

(<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8f/b/desalination1-1.asp>).

- **Humidificação-desumidificação**

O processo de HDH é constituído por três subsistemas: o aquecedor de água, que pode usar a energia solar térmica; o evaporador (ou humidificador) e o condensador (ou desumidificador) (figura 2.17).

Este processo utiliza o princípio básico do processo de MEE descrito acima, contudo é mais eficiente porque aproveita o calor latente proveniente das fases anteriores.

Este processo será explicado de forma mais aprofundada posteriormente, uma vez que serve de base ao estudo de caso deste trabalho.

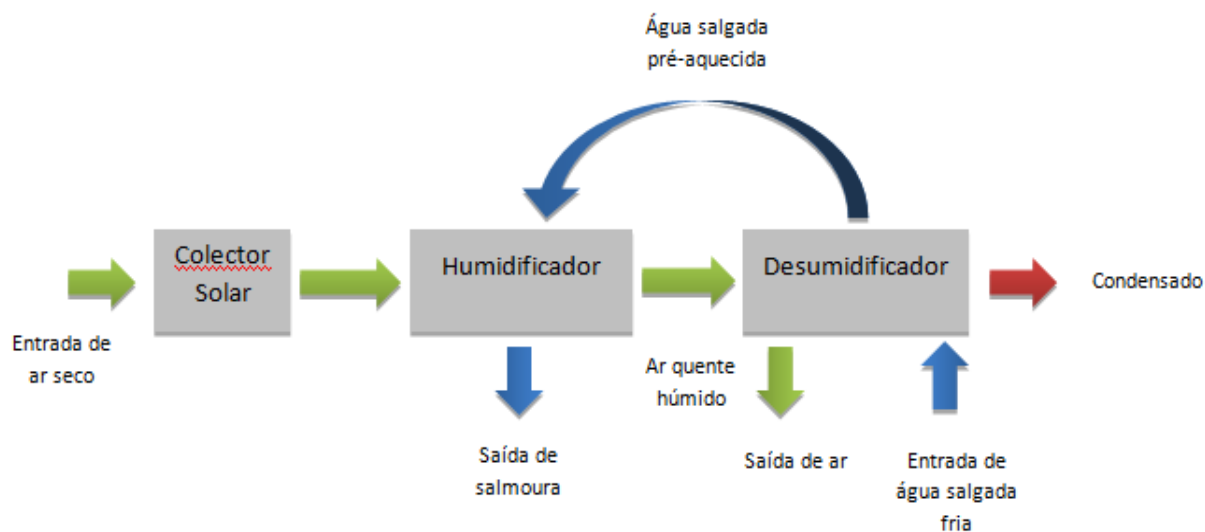


Figura 2.17 - Processo de HDH (adaptado de Narayan, G.P., et al, 2010).

2.4. Sustentabilidade

Do exposto ficou ilustrado que há uma grande diversidade de tecnologias de dessalinização. No entanto, como estas tecnologias são dispendiosas e dependem de combustíveis fósseis para o seu funcionamento, são menos aplicáveis para a produção descentralizada de água. É portanto de extrema importância o desenvolvimento de

tecnologias de dessalinização de pequena escala, com custos que possam ser suportados pela comunidade onde a tecnologia vai ser instalada, que utilizem fontes de energia renováveis, através da alternativa da eficiência de conversão dos recursos energéticos, ao mesmo tempo que reduzem as emissões de gases com efeito de estufa e os custos de operação do sistema.

Nesse sentido, é relevante fazer referência ao uso da energia solar como alternativa às fontes convencionais, no processo de dessalinização.

2.4.1. Energia solar térmica

O Sol é a nossa principal fonte de energia, responsável pela manutenção das várias formas de vida existentes na Terra. Trata-se de um recurso praticamente inesgotável e constante, quando comparado com a nossa escala de existência neste planeta.

Segundo a WMO a radiação solar incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra-Sol, situada no topo da atmosfera, é de 1367 W/m^2 . A distribuição espectral desta radiação é constituída por radiação na gama dos ultra-violetas (7%), luz visível (47%) e infra-vermelhos (46%). Após atravessar a atmosfera, a irradiação solar é reflectida, difundida (devido à poluição) e absorvida, originando perdas na quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre, com uma potência inferior em cerca de 30% da registada no topo da mesma, ou seja, aproximadamente, de 1000 W/m^2 .

Esta radiação que atinge o solo é constituída por três componentes (figura 2.18):

- Radiação directa – atinge directamente a superfície,
- Radiação difusa – desviada em diferentes direcções pelos componentes da atmosfera,
- Radiação reflectida – resultante da reflexão no solo e objectos circundantes.

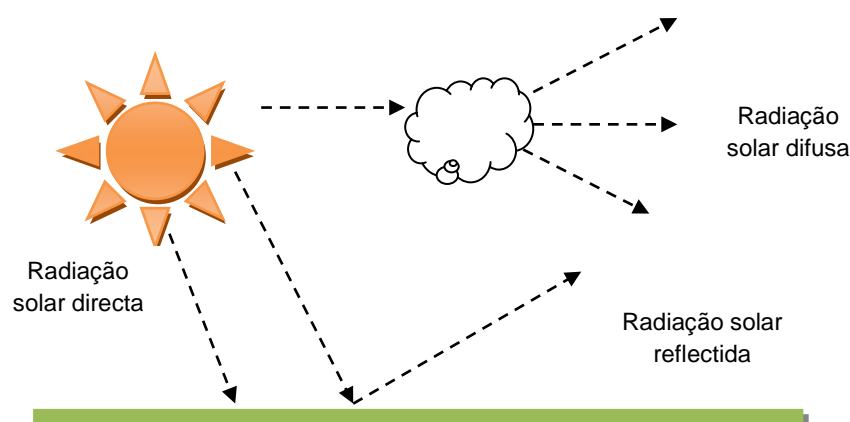


Figura 2.18 - Componentes da radiação solar.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, uma quantidade enorme de energia (avaliada em $1,5 \times 10^{18}$ kWh), correspondente a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia verificado nesse mesmo período.

Portugal é dos países da Europa com maior índice global de radiação solar, como se pode observar na figura 2.19, com um valor aproximado de 1650 kWh/m^2 (Pereira, F.A.S, e Oliveira, M.A.S., *et al*, 2001).

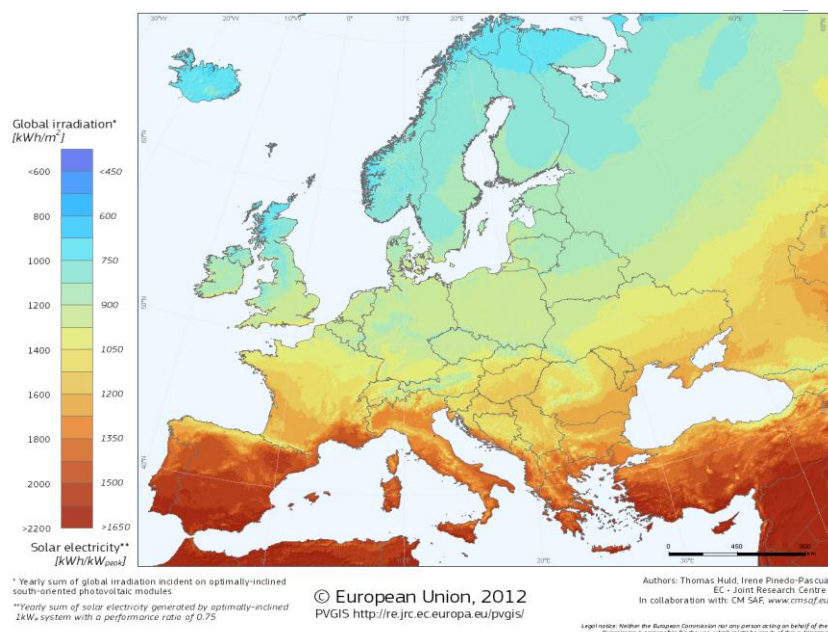


Figura 2.19 - Índice de radiação solar

(http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png)

Relativamente à insolação, Portugal dispõe de um número médio anual de horas de Sol, variável entre 2200 e 3000 no continente, sendo maior a Sul do País, como se pode observar na figura 2.20.

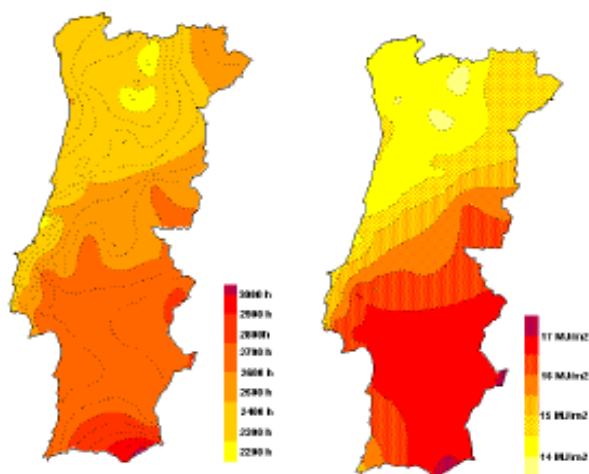


Figura 2.20 - Insolação e radiação solar anual (Mendes, J.F., 2010).

Em Portugal, o potencial de energia solar disponível é considerável, e com as tecnologias existentes esta pode ser aproveitada para inúmeras aplicações, diminuindo a dependência dos combustíveis fósseis.

Contudo, este potencial não tem vindo a ser aproveitado na sua totalidade, e registou-se um forte decréscimo, menos 28,8% nos últimos dois anos, após o fim do grande apoio "Medida Solar Térmica", como se pode ver no quadro 2.1. Na verdade, o mercado está agora quase ao mesmo nível que em 2008. Até o final de 2012, a capacidade total instalada foi de 600 MWth (856 867 m²), um aumento de quase 10% em relação ao ano anterior (Solar Thermal Markets in Europe, 2013).

Quadro 2.1 - Capacidade instalada e evoluções do mercado e capacidade instalada de Portugal (Solar Thermal Markets in Europe, 2013).

Capacidade Instalada				Evolução Anual do mercado	Capacidade Instalada		Evolução Anual da Capacidade total instalada
2010	2011	2012			Até ao final de 2012		
m²	m2	m2	kW(th)	%	m2	kW(th)	%
182 271	127 198	90 612	63 428	-28,8	856 867	599 807	9,7

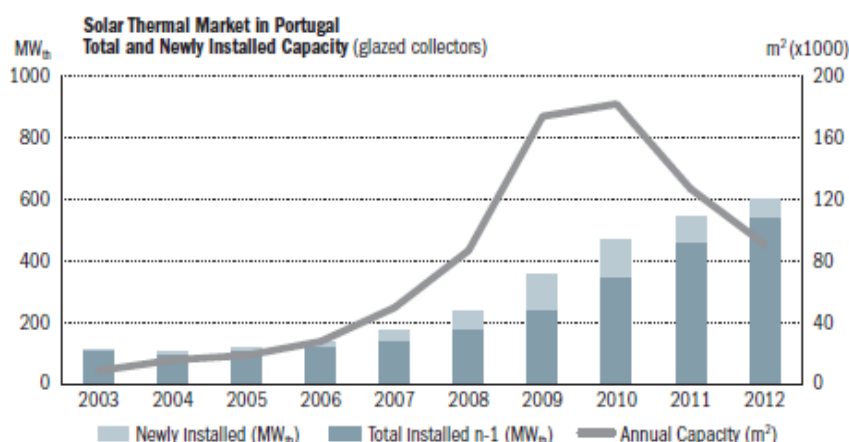


Figura 2.21 - Capacidade instalada e evolução do mercado (Solar Thermal Markets in Europe, 2013).

2.4.2. Aplicações da energia solar térmica

A energia solar térmica pode ter diversas aplicações, consoante a sua temperatura de utilização, como se pode ver na figura 2.22.

Para uma temperatura abaixo dos 100 °C, a energia solar térmica é eficaz para processos como a fotocatalise, que pode ser usada para a tratamento de águas, secagem solar, produção AQS, para uso doméstico, hotéis e aquecimento de piscinas (AQP). Os

processos de dessalinização, fornos solares e climatização são exequíveis tanto para uma temperatura baixa ($\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) como para uma temperatura média (entre 100 e 250 $^{\circ}\text{C}$). Uma temperatura acima dos 250 $^{\circ}\text{C}$, é mais adequada para tratamentos de resíduos e efluentes, porque baixas temperaturas afectam o desempenho destes processos.

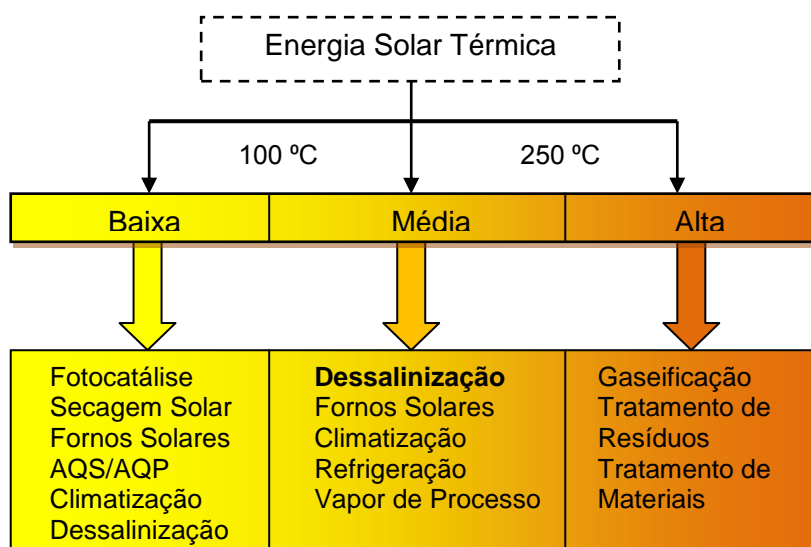


Figura 2.22 - Aplicações da Energia Solar Térmica (adaptado de Mendes, J.F., 2010).

2.4.3. Dessalinização por energia solar

O potencial de utilização de energias renováveis em dessalinização de pequena escala, para comunidades remotas tem recebido crescente atenção nos últimos anos (Werner, M. e Schäfer, A.I., 2007), embora estatísticas actuais mostrem que apenas 1% da totalidade de água dessalinizada é produzida a partir de fontes de energia renováveis (Shatat, M., *et al*, 2013).

Os sistemas de dessalinização que usam fontes de energia renováveis podem ser divididos em 3 categorias: energia eólica, solar (fotovoltaica e térmica) e geotérmica, podendo conjugar-se com sistemas térmicos e de membrana.

Como se pode ver na figura 2.23, das fontes de energias renováveis a mais utilizada é a solar (70%), dividindo-se em fotovoltaica (43%) e térmica (27%). A vantagem da dessalinização solar térmica é o facto de o pico solar de energia aproveitada no Verão coincidir com a altura de maior procura de água.

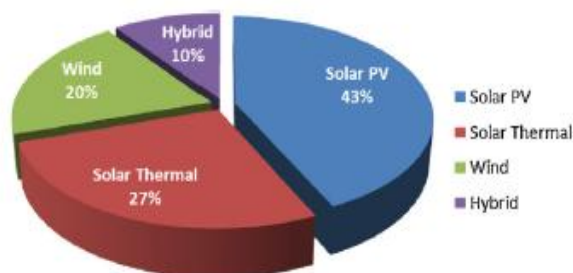


Figura 2.23 - Uso de fontes de energia renováveis na dessalinização (Shatat, M., *et al*, 2013).

Os processo de dessalinização solar podem ser divididos em 3 categorias: fotovoltaica; solar térmica directa, em que o processo térmico de dessalinização ocorre no mesmo sistema; e indirecta em que a unidade de dessalinização e os colectores solares se encontram em dois subsistemas diferentes. Os sistemas de dessalinização solar podem ter as seguintes configurações apresentadas na figura 2.24.

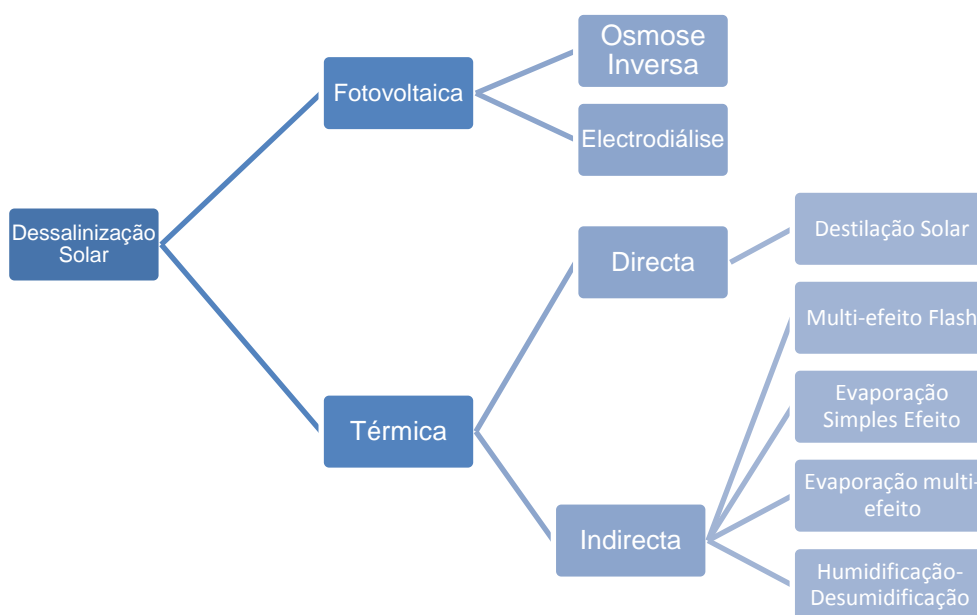


Figura 2.24 - Configurações da dessalinização solar (adaptado de Shatat, M., *et al*, 2013).

A água e a energia são dois dos mais importantes tópicos actualmente, uma vez que a saúde social e económica do mundo moderno depende do fornecimento sustentável de energia e água (El-Ghonemy, A.M.K, 2012).

Os processos de dessalinização solar apresentam uma alternativa promissora que pode suportar parcialmente as necessidades humanas de água doce com uma fonte de energia renovável e ambientalmente sustentável. Contudo, estes sistemas de

dessalinização solar necessitam de ser otimizados para tornar o sistema mais confiável, eficiente e competitivo.

2.5. Instalações de dessalinização existentes

2.5.1. Em Portugal

2.5.1.1. Instalações à escala real

• Ilha de Porto Santo

A ilha de Porto Santo (R.A da Madeira) foi o primeiro local do País onde foi instalada uma central de dessalinização, em 1980, sendo a primeira a utilizar o processo de osmose inversa na Europa e a única que produz água para consumo humano em Portugal (IGA, 2013). Esta central surgiu devido à escassez de recursos hídricos, insuficientes para cobrir a totalidade das necessidades da ilha, tanto em quantidade como em qualidade, continuando a abastecer as populações.

A central de dessalinização, com uma potência de 1500 kW, localizada no centro da cidade de Vila Baleira junto ao cais, é a única origem de água potável com qualidade, utilizada para o abastecimento público da totalidade da ilha, à excepção de duas unidades hoteleiras que têm produção própria de OI.

A tecnologia utilizada é de osmose inversa, com capacidade para 15700 m³/dia de água captada e uma capacidade de produção de cerca de 6000 m³/dia através de quatro unidades de dessalinização, ou seja, uma taxa de recuperação média de 38%.



Figura 2.25 - Central de dessalinização de Porto Santo (IGA, 2013).

A água produzida é encaminhada para um reservatório de água potável, com cerca de 100 m³ onde é efectuada a sua desinfecção, através da injeção de hipoclorito de sódio.

As águas rejeitadas pelo processo de dessalinização são devolvidas ao mar com cerca do dobro da concentração de sais existente na água salgada (IGA, 2013).

- Alvor (Hotéis Pestana)

A necessidade de construir uma central de dessalinização de água verificou-se após o período de seca de 2004, sendo que no final de 2007, quatro estabelecimentos hoteleiros localizados no Alvor (pertencentes ao grupo Pestana) começaram a ser abastecidos por água dessalinizada através da Central de Dessalinização do Alvor.

Assim como em Porto Santo, também no Alvor o processo utilizado é o de osmose inversa, mas a água produzida não é utilizada para consumo humano, mas sim para rega e águas de serviço.

A escala utilizada é bem mais pequena que a de Porto Santo, com uma potência eléctrica de 123 kW e com uma captação de 2000 m³/dia, e produção de 800 m³/dia, sendo a água produzida é tratada com hipoclorito de sódio e encaminhada para um reservatório a partir do qual é distribuída.



Figura 2.26 - Central de dessalinização do Alvor.

- Ilha da Culatra

Foi feito um estudo de dessalinização para a Ilha da Culatra, sendo o sistema de dessalinização estudado de osmose inversa com recurso a energia eléctrica, mas que acabou por não ser implementada por diversas razões.

O Projecto da Estação de Tratamento de Água por Dessalinização da Culatra/Farol surgiu na sequência da aprovação, pela Águas do Sotavento Algarvio, S.A. e restantes entidades competentes, designadamente o PNRF, do estudo “Concepção, Funcionamento e Localização das Instalações de Tratamento de Água por Dessalinização. Estudo de Fundamentação” elaborado em Dezembro de 1999.

A estação tinha como objectivos principais, o abastecimento de água aos aglomerados da Culatra e do Farol com 60000 m³ anuais, através da produção, a partir da água do mar, de água com a qualidade para consumo humano.

A estação foi dimensionada para uma captação máxima de 1250 m³/dia, com uma produção máxima diária de 562,5 m³ de água potável, ou seja, uma taxa de conversão de 45%. Toda a água captada é sujeita a um pré-tratamento, destinado a eliminar a turvação e os sólidos suspensos, a ajustar e controlar o pH e impedir desenvolvimentos biológicos e microbiológicos no sistema.

2.5.1.2. Instalações piloto

- Trabalhos de 1993-95 no INETI, que deram origem a linha de investigação em pequenos protótipos com energia solar

- ✓ Participação no programa Ibero Americano CYTED, construção um protótipo com capacidade de produção de 1 m³, com tecnologia de humificação-desumificação.

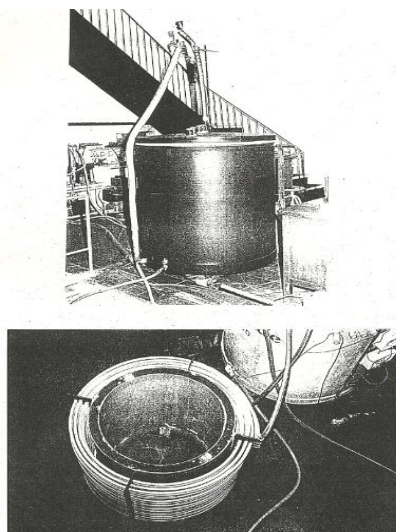


Figura 2.27 – Protótipo de HDH (INETI, 1992).

- ✓ Participação em 1993 no 6º Congresso Latino Americano de Energia Solar na Argentina (ASADES), apresentou um sistema experimental também com tecnologia de humificação-desumificação flash, com uma produção de 30 kg/h com uma taxa de conversão de 3%.

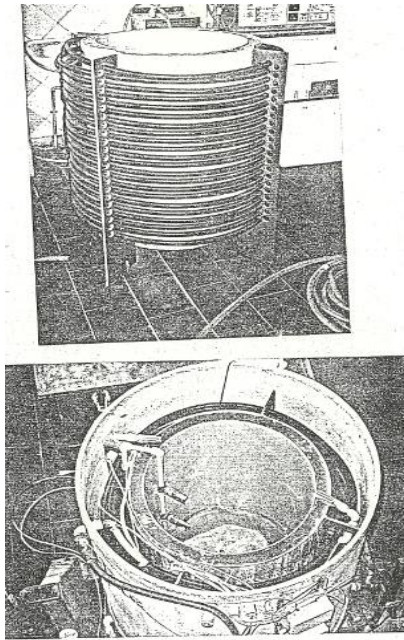


Figura 2.28 - Protótipo de HDH Flash (INETI, 1992).

✓ No mesmo Congresso, foi apresentado um sistema de destilação multi-efeito, constituído por uma câmara de destilação de três andares sucessivos, aquecida na base por um colector solar CPC, com uma produção de 0,6 kg/h.

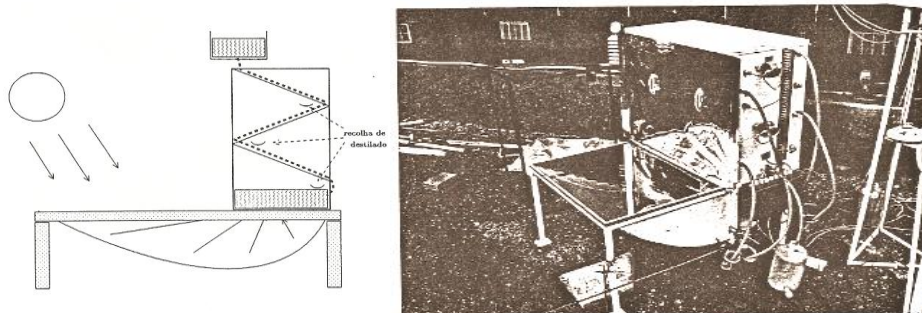


Figura 2.29 - Protótipo de destilação multi-efeito (INETI, 1992).

- Projecto SelfWater

O projecto inclui a construção e teste de um pré-protótipo de uma câmara de dessalinização, destinado a obter a informação de carácter experimental sobre o comportamento do sistema de dessalinização no seu todo e permitir o desenvolvimento, construção e monitorização de um protótipo para instalação em condições reais para fornecimento de água dessalinizada numa Marina. Este projecto será desenvolvido com mais pormenor mais à frente.

- Protótipo na Marina de Cascais

Foi apresentado em Maio deste ano, na Marina de Cascais, um protótipo de uma central de dessalinização com objectivo de produzir água para uso em sistemas de rega, limpeza urbana e combate a incêndios, baseado no princípio de destilação multi-efeito, com um equipamento que se enquadra na classe de sistemas inovadores com recurso a energias renováveis.

2.5.2. No Mundo

- Projecto para a empresa SODESA e co-financiado pela Comissão Europeia, que decorreu em Gran-Canaria, englobou 58 painéis térmicos planos, com temperaturas entre os 80-90 °C, e um sistema de humificação-desumificação, com uma capacidade de produção de 25 L/h, aproximadamente 600 L/dia.

- Sistema de destilação de membranas instalado em Tenerife com capacidade de 0,15 - 10 m³/dia, em que a unidade de destilação utiliza a energia solar para elevar a temperatura da água salgada a vapor no processo de separação de membranas.

- Sistema de dessalinização de humificação-desumificação, em Geroskipou, Chipre, com uma produção de 1000 L/dia com recurso a 48 colectores com superfície total de 96 m², no centro olímpico de natação do município. A energia solar pode ser usada no inverno para aquecimento da piscina, e no verão, para a dessalinização de água.

3. Tecnologia de HDH para dessalinização de água do mar por energia solar

Seguidamente abordam-se alguns aspectos relevantes para aplicação da tecnologia de HDH por energia solar, para a produção de água para consumo humano, tal como a qualidade da água captada, instalação solar e sistemas de tecnologia de dessalinização propriamente dita, bem como o exemplo uma instalação piloto deste tipo de tecnologia.

3.1. Características físico-químicas da água do mar

O conhecimento das propriedades da água do mar é importante para o desenvolvimento e concepção de sistemas de dessalinização.

Como uma primeira aproximação, a maioria das propriedades físicas da água do mar são semelhantes às da água pura, que pode ser descrito por função da temperatura e pressão. No entanto, a salinidade (que é a massa de sais dissolvidos por unidade de massa de água do mar) deve ser conhecida como uma terceira propriedade independente para além da temperatura e da pressão.

Embora a temperatura média da água do mar seja de 17°C, esta varia consoante a latitude do local, por isso a água do mar em Portugal Continental (latitude entre 36°57' e 42°9'), a temperatura varia entre os 19° e 23° aproximadamente (figura 3.1).

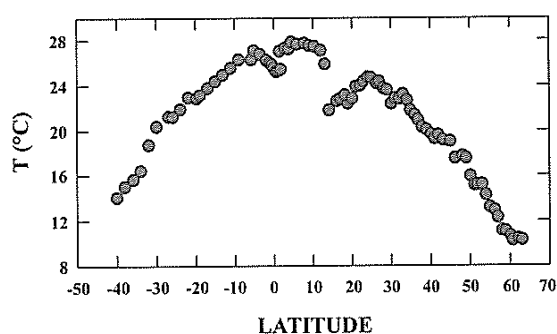


Figura 3.1 - Variação da temperatura em função da latitude (Kennish, M.J., 2001).

A água do mar possui em média uma salinidade de 35 g/kg de água salgada, embora possam existir variações em função do ambiente e latitude do local, sendo que para Portugal, varia entre os 35,5 e os 36,5 g/kg aproximadamente (figura 3.2).

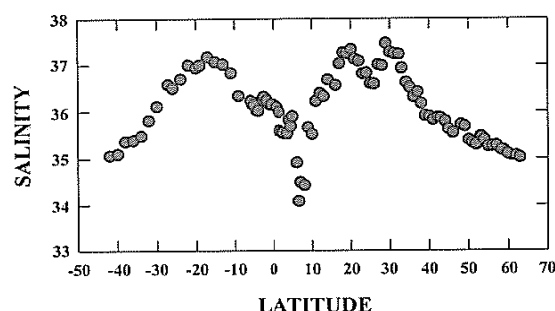


Figura 3.2 - Variação da salinidade em função da latitude (Kennish, M.J., 2001).

A condutividade eléctrica (capacidade de um determinado meio para conduzir corrente eléctrica) da água do mar é função da temperatura e salinidade, e é influenciada pelo tipo e proporção dos diferentes sais na solução. Os iões cloreto e sódio compreendem 85,65% de todas as substâncias dissolvidas na água do mar (quadro 3.1), e são estes que conferem à água do mar a sua salinidade.

Assumindo uma salinidade de 35‰, e uma temperatura da água do mar entre os 20 e os 25°C, pode observar-se na figura 3.3 que a condutividade eléctrica varia entre os 0.047934 S/cm (47,92 mS/cm) e os 0.053088 S/cm (53,08 mS/cm).

Quadro 3.1 - Composição da água do mar (adaptado de Kennish, M.J., 2001).

Iões	Iões na água (‰)	Iões por peso (%)
Cloreto	18,98	55,04
Sódio	10,556	30,61
Sulfato	2,649	7,68
Magnésio	1,272	3,69
Cálcio	0,4	1,16
Potássio	0,38	1,1
Bicarbonato	0,14	0,41
Oligoelementos	0,0816	0,3

Electrical Conductivity of Seawater in S/cm as a Function of Temperature and Salinity								
t/°C	S = 5	S = 10	S = 15	S = 20	S = 25	S = 30	S = 35	S = 40
0	0.004808	0.009171	0.013357	0.017421	0.021385	0.025257	0.029048	0.032775
5	0.005570	0.010616	0.015441	0.020118	0.024674	0.029120	0.033468	0.037734
10	0.006370	0.012131	0.017627	0.022947	0.028123	0.033171	0.038103	0.042935
15	0.007204	0.013709	0.019905	0.025894	0.031716	0.037391	0.042933	0.048355
20	0.008068	0.015346	0.022267	0.028948	0.035438	0.041762	0.047934	0.053968
25	0.008960	0.017035	0.024703	0.032097	0.039276	0.046267	0.053088	0.059751
30	0.009877	0.018771	0.027204	0.035330	0.043213	0.050888	0.058373	0.065683

Figura 3.3 - Variação da condutividade eléctrica em função da temperatura e salinidade (Kennish, M.J., 2001).

O pH varia entre os 8,06 e 8,14, relativamente à nossa latitude (figura 3.4).

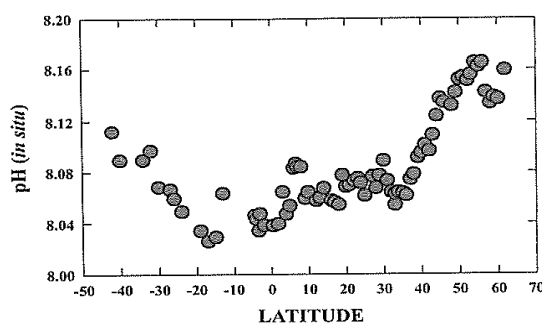


Figura 3.4 - Variação do pH em função da latitude (Kennish, M.J., 2001).

Para uma salinidade de 35‰ e uma pressão de 1 atm, as propriedades termoquímicas da água do mar variam em função da temperatura (figura 3.5). O conhecimento destas propriedades, pode ser útil para o processo de dessalinização por HDH.

Temperature, °C	C_p (J/g/K)	C_v (J/g/K)	$10^3 h$ (J/g)	$-g$ (J/g)	$10^6 s$ (J/g/K)
0	3.9865	3.9848	-30.59	5.01	1.718
5	3.9842	3.9772	-17.18	5.10	1.735
10	3.9861	3.9691	-4.73	5.19	1.815
15	3.9912	3.9599	6.88	5.28	1.858
20	3.9937	3.9492	17.86	5.37	1.897
25	3.9962	3.9366	28.30	5.47	1.933
30	4.0011	3.9215	38.42	5.57	1.968
35	4.0031	3.9037	48.35	5.66	2.001
40	4.0039	3.8829	58.27	5.76	2.035

Note: C_p = specific heat capacity at constant pressure; C_v = specific heat capacity at constant volume; h = specific enthalpy; g = specific free energy; s = specific entropy.

Figura 3.5 - Propriedades termoquímicas da água do mar (Kennish, M.J., 2001).

3.1.1. Zonas costeiras

É importante ter em atenção o fenómeno do afloramento costeiro que ocorre nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro) que tem como consequência, para além do arrefecimento das águas, o seu enriquecimento em nutrientes. As águas subsuperficiais (que têm maior concentração de nutrientes) são levadas para a superfície, por acção dos ventos, onde a radiação solar consegue penetrar, criando condições ideais de alimento e luz para o desenvolvimento do fitoplâncton, originando um aumento da produção primária, levando ao desenvolvimento de toda a restante cadeia alimentar.

As zonas costeiras têm uma produção primária entre os 100 e 250 g C/m²/ano, com uma produção média de 160 ± 40 g C/m²/ano (figura 3.6).

Ocean Area	Range (g C/m ² /year)	Average (g C/m ² /year)
Open ocean	50–160	130 ± 35
Coastal ocean	100–250	160 ± 40
Upwelling zones	200–500	300 ± 100
Upwelling zones	300–800	640 ± 150
Saltmarshes	1000–4000	2471

Figura 3.6 - Produção primária (Kennish, M.J., 2001).

As condições hidrodinâmicas da costa ocidental de Portugal estão entre as mais favoráveis das águas costeiras europeias para a diluição e dispersão das águas residuais. Com as descargas de águas residuais que ocorrem ao longo de toda a costa (figura 3.7), é necessário ter em atenção o local escolhido para captação de água do mar para dessalinização. Isto porque, embora a água captada para a dessalinização seja alvo de um pré-tratamento antes do processo de dessalinização, é necessário ter em atenção a qualidade da água captada, na medida em que esta pode afectar a qualidade da água produzida. É importante referir que em Portugal, não existe nenhum documento específico que nos indique quais os parâmetros de qualidade da água captada para dessalinização.

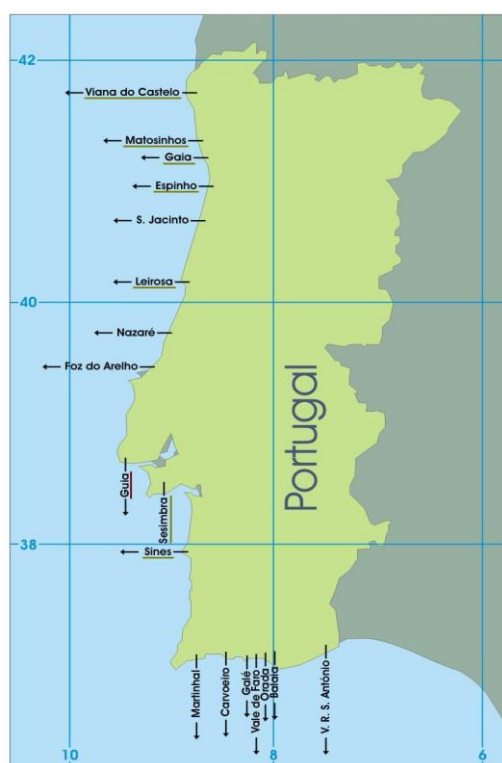


Figura 3.7 - Zonas de emissários (Santos, C., *et al*, 2006).

“O ambiente marinho oferece um enorme potencial para o bem-estar dos cidadãos, com extensos recursos que constituem a base de muitas actividades económicas e de lazer. Contudo, torna -se necessário gerir as actividades dos sectores marítimos, de turismo, de desenvolvimento costeiro, de pesca e aquicultura, de segurança, de vigilância e assim por diante, assegurando simultaneamente a realização de objectivos de política ambiental” (DL n.º108/2010 de 13 de Outubro).

Para isso, este decreto-lei, estabelece as medidas necessárias para garantir o bom estado ambiental do meio marinho até 2020, visando a protecção e a conservação do meio marinho, a prevenção da sua deterioração, a valorização equilibrada dos recursos e a sua utilização sustentável, a recuperação de áreas degradadas, bem como a prevenção e a progressiva redução da poluição marítima.

3.2. Requisitos de qualidade da água para consumo humano

O decreto-lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto estabelece o regime da qualidade da água para consumo humano, com o objectivo de proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição.

É definida como água destinada para consumo humano:

- “Toda a água no seu estado original, ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, à preparação de alimentos, à higiene pessoal ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, de um camião ou navio-cisterna, em garrafas ou outros recipientes, com ou sem fins comerciais” (DL n.º 306/2007 de 27 de Agosto).

Sendo a qualidade da água para consumo humano:

- “A característica dada pelo conjunto de valores de parâmetros microbiológicos e físico-químicos fixados nas partes I, II e III do anexo I do presente decreto -lei e que dele faz parte integrante” (DL n.º 306/2007 de 27 de Agosto).

Esta qualidade tem de ser assegurada pelas entidades gestoras através de tratamentos adequados, bem como através do controlo da qualidade da água, através de parâmetros biológicos (Anexo I), indicadores (Anexo II) e químicos (Anexo III).

Uma vez que não existe qualquer referência relativa à qualidade da água dessalinizada para consumo humano, considera-se que a esta água deve seguir os parâmetros de qualidade descritos neste decreto-lei.

3.3. Instalação solar térmica

3.3.1. Constituintes da instalação

Uma instalação solar térmica é composta por: colector solar térmico, depósito, grupo de circulação e controlador (figura 3.8).

Convém também salientar que um sistema solar térmico tem normalmente dois circuitos independentes: o circuito primário e o circuito secundário. O circuito primário é um circuito fechado estabelecido entre o campo de colectores solares (painéis solares) e a serpentina do depósito de armazenagem de água quente (depósito). O circuito secundário é um circuito aberto e é constituído pelo depósito de armazenamento de água quente, os troços de tubagem de distribuição de água quente e o sistema de apoio.

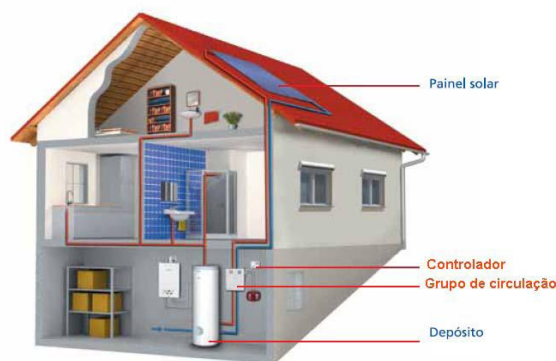


Figura 3.8 - Instalação solar térmica (SelfWater, 2010).

- Colector solar térmico

O colector solar térmico (figura 3.9) é um dispositivo que converte a radiação solar em calor útil.

Deve possuir uma superfície que garanta uma elevada transmissividade ao espectro de radiação solar e elevada retenção do espectro de radiação infravermelha de grande comprimento de onda, provocando dessa maneira o chamado efeito-de-estufa.



Figura 3.9 - Colector solar térmico (Roriz, L., 2009)

Existem actualmente no mercado muitos modelos, classificados pela solução combinada dos factores da óptica focalizante (cobertura, formato e recobrimento do absorvedor), do balanço de energia (ganhos e perdas por condução, convecção e radiação) e da potência térmica disponível (temperatura que podem atingir água em circulação), por exemplo, colectores solares planos, colectores CPC e colectores de tubo-de-vácuo.

- Depósito

Um elemento importante da instalação solar é o depósito de armazenamento de água quente solar. As instalações mais eficazes utilizam depósitos verticais onde é mais fácil promover a estratificação, ou seja, a água que é aquecida sobe para a parte superior e, a que entra fria da rede de abastecimento, fica na parte inferior, podendo utilizar-se a instalação sem recorrer à utilização do sistema de apoio, ao contrário dos depósitos em que não há estratificação (figura 3.10).

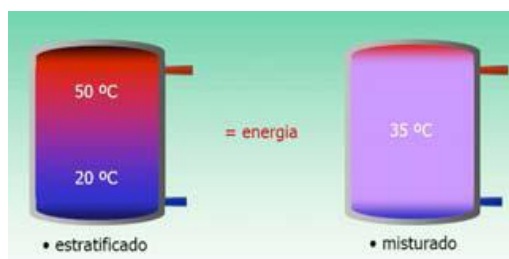


Figura 3.10 - Depósito de armazenamento de água (SelfWater, 2010).

- Electrobomba e controlador

A electrobomba de circulação deve ser dimensionada de forma a fazer circular o fluido primário, vencendo as perdas de carga, que consistem na resistência à circulação do fluido no interior do coletor solar, dos tubos do circuito e no permutador do depósito. O fluido só deve circular no circuito primário quando a temperatura do fluido do circuito primário for maior do que a temperatura do depósito, sendo esta função controlada automaticamente pelo controlador em função das temperaturas lidas no coletor solar e no depósito de armazenamento de AQS.

3.3.2. Considerações prévias à instalação

- Orientação dos painéis

Para o máximo aproveitamento das horas de sol, convém os painéis estarem orientados a sul, com uma inclinação que deve corresponder a latitude do lugar menos 5° (utilizada todo o ano), menos 15° (apenas utilizada no Verão) e mais 15° (apenas utilizada no Inverno).

- Volume de acumulação

A procura energética a satisfazer pela instalação solar é obtida através do consumo diário, com base em informações fornecidas pelos utilizadores ou variáveis reais.

- Energia que se pode obter

Está dependente dos valores médios anuais de irradiação solar diária horizontal. No caso de instalações durante todo o ano, é necessário um sistema de apoio que funcione durante os meses mais frios, quando a instalação solar não é suficiente para as necessidades.

- Tipologia da instalação

É importante saber as condições climáticas do local, o tipo de utilização da habitação (sazonal ou permanente) e as necessidades de água quente, de modo a determinar o equipamento adequado.

3.3.3. Dimensionamento da instalação

No estado actual da tecnologia e por razões económicas, uma instalação correctamente dimensionada não produz toda a energia que é necessária para o aquecimento das AQS. Uma vez determinadas as necessidades de AQS o projecto deverá ter em conta o dimensionamento da instalação de forma a maximizar a fracção que consegue aquecer com a energia solar, sem ter desperdícios na instalação.

A determinação do volume de acumulação de água quente e da área de captação solar necessária pode ser realizada através de dois métodos (Benito, T.P., 2010):

- Através de valores pré-estabelecidos da área total de captação que relacionada com o volume de acumulação de água quente necessária satisfaça 50 (zonas frias) $< V/A < 180$ (zonas temperadas), em que A é a área total de captação solar (m^2) e V o volume do depósito de acumulação de água (L)
- Utilizando valores de variáveis reais, como a temperatura da água da rede (fria) e a irradiação solar do lugar nas diferentes estações do ano e fazer:

✓ cálculo energético:

$$Q = M \times \rho \times C_p (T_{\text{aq}} - T_{\text{fria}})$$

Em que:

Q – energia procurada (kWh)

M – consumo total de água quente (L/dia)

ρ – densidade da água (kg/l)

C_p – calor específico da água (kWh/kg.°C)

✓ E o cálculo da área de captação:

Para o Inverno

Para o Verão

$$S_i = \frac{F_{\text{min}} \times Q}{\eta \times Q_{\text{útil}}}$$

$$S_i = \frac{F_{\text{max}} \times Q}{\eta \times Q_{\text{útil}}}$$

Em que:

F_s - fracção solar

$Q_{\text{útil}}$ – energia solar média diária (kWh)

η – rendimento (%)

S_i – área de captação (m²)

3.3.4. Funcionamento da instalação

Geralmente, a instalação funciona com recurso a um sistema de apoio, pois não seria económico a instalação solar vir a fornecer toda a energia térmica necessária.

O sistema de apoio dá prioridade ao sistema solar, e só entra em funcionamento quando a energia térmica produzida não é suficiente para suprir a procura de energia necessária. É essencial que o sistema de apoio não entre em concorrência com o sistema solar, aquecendo a água do depósito, pois isto prejudica a eficácia do sistema.

A melhor solução é, sempre que a temperatura no depósito não seja suficientemente alta para a utilização requerida, a água já aquecida é feita circular num esquentador ou caldeira que a aquece até a temperatura para que estiver regulada. Assim o consumo de energia de apoio é limitado ao máximo.

3.4. Processo de humedificação-desumidificação (HDH)

Existem várias combinações possíveis de sistemas de dessalinização com energia renovável, que estão em diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico, enquanto cada um enfrenta diferentes segmentos de mercado. A figura 3.11 permite-nos visualizar o estado de desenvolvimento e a faixa de capacidade típica para alguns sistemas de dessalinização.

Podemos observar na figura 3.11 que o processo de humidificação está numa fase de investigação e desenvolvimento avançado para uma faixa de capacidade típica de m³/dia.

É importante compreender que o antecessor deste processo é a destilação solar, e que este foi desenvolvido para tentar resolver o maior problema da destilação solar – a perda de energia sob a forma de calor latente de condensação (Mathioulakis, E., *et al*, 2007).

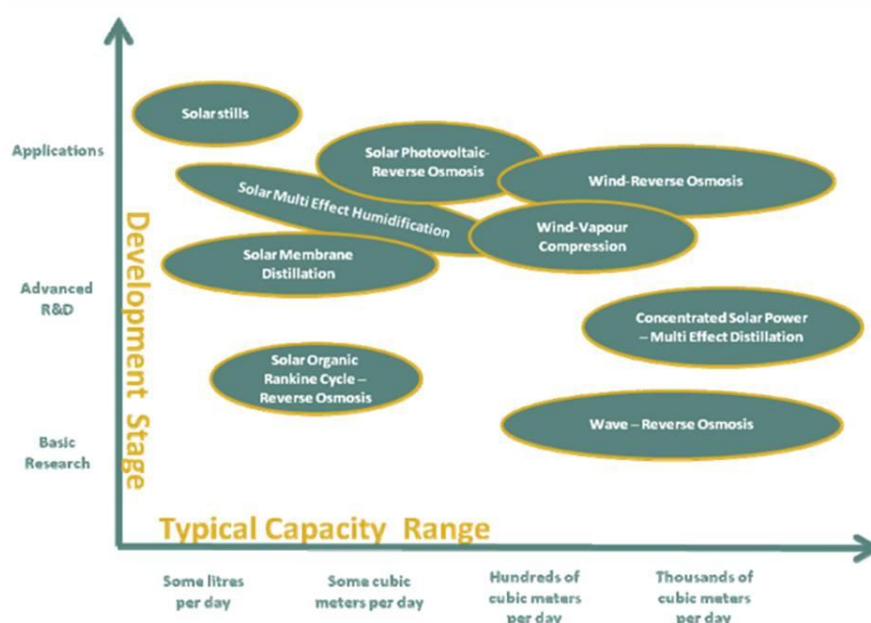


Figura 3.11 - Etapa de desenvolvimento e capacidade típica dos diferentes processos de dessalinização (adaptado de PRODES, 2010).

3.4.1. Parâmetros de performance

- GOR (Gained-Output-Ratio) – relação entre o calor latente de evaporação do destilado produzido e o calor total absorvido pelos colectores solares. Este parâmetro traduz a eficiência da produção de água e um índice da quantidade de recuperação de calor efectuada no sistema. Para os sistemas de HDH, deve ser obtido um GOR de pelo menos oito (Narayan, G.P., *et al*, 2010).

- Produção específica de água – água produzida por m² de colector solar por dia, que traduz a eficiência da energia solar do sistema de HDH (Narayan, G.P., *et al*, 2010).

- Taxa de conversão – relação entre a quantidade de água destilada e a quantidade de água captada.

3.4.2. Sistemas de HDH

Os sistemas de HDH são classificados em três categorias (figura 3.12):

- Baseado na forma de energia usada (ex: solar térmica).
- Baseado no tipo de conversão térmica (sistemas de aquecimento de água ou ar).
- Baseado na configuração do ciclo.

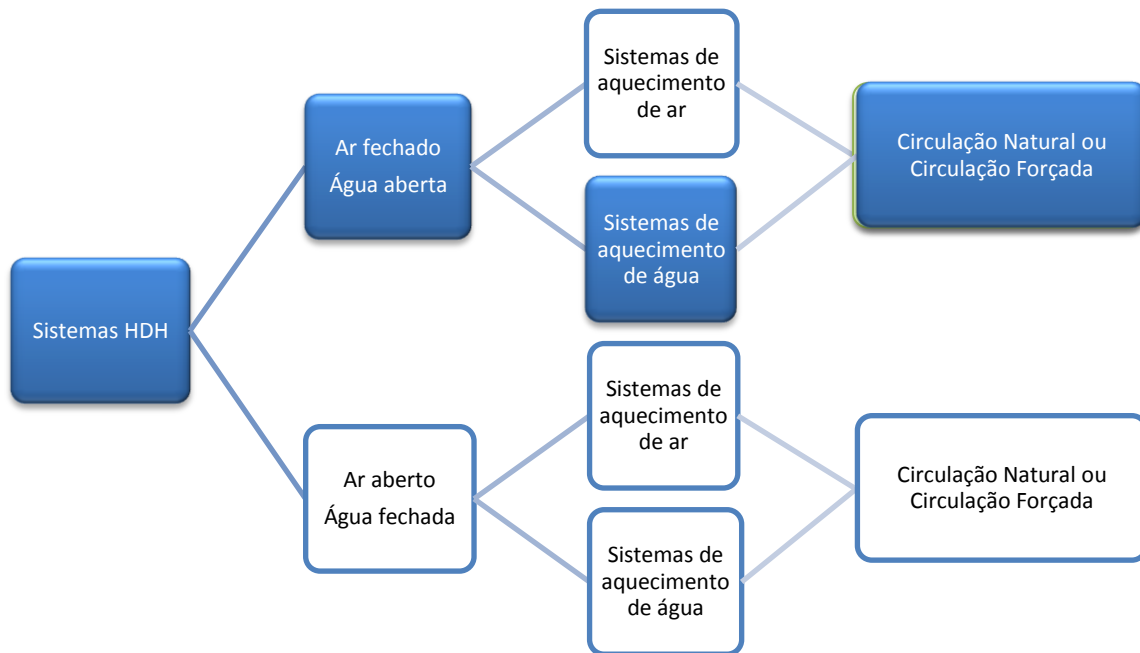


Figura 3.12 - Configurações de sistemas HDH (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

3.4.2.1. Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de água aquecida

Este sistema é o sistema de HDH convencional, em que a água salgada à temperatura ambiente entra no condensador, no qual é pré-aquecida. Posteriormente é aquecida pelo coletor solar (para aumentar a eficiência da evaporação), segue para o evaporador onde é pulverizada no topo do mesmo. Uma vez que no evaporador circula vapor aquecido, a água pulverizada aquece e evapora, sendo este vapor de água transferido para o condensador, sendo depois colhido como água destilada.

Neste sistema o ar que circula é sempre o mesmo, sendo humidificado e desumidificado durante o processo (figura 3.13).

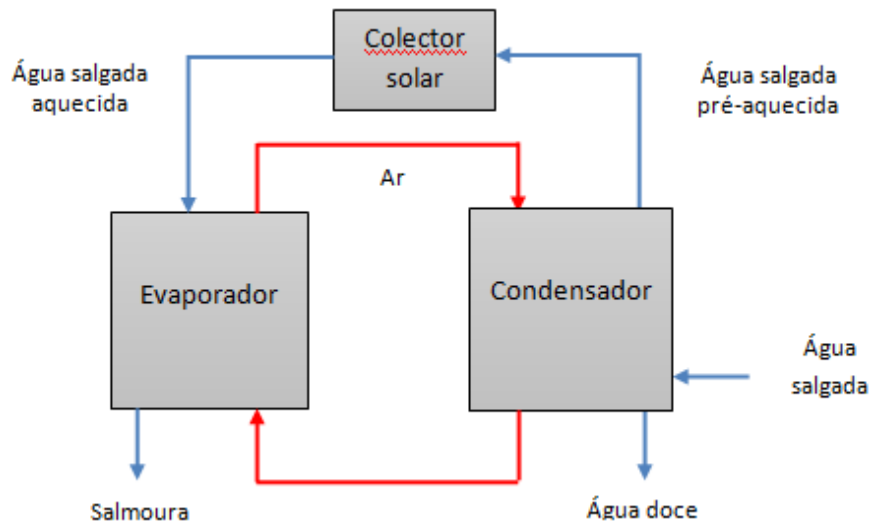


Figura 3.13 - Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de água aquecida (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

Para estes sistemas há um consenso unânime, que a circulação natural produz uma melhor eficiência do que a circulação forçada.

Através de alguns trabalhos publicados, obteve-se uma produção de água específica entre 4-12 kg/m² e um GOR entre 1.2-4.5, como se pode ver na figura 3.14. O valor mais baixo de GOR é reflexo da não recuperação de calor latente de condensação, enquanto o valor mais alto é obtido com a utilização do mesmo, isto demonstra a importância da recuperação de calor latente, de modo a minimizar o consumo de energia.

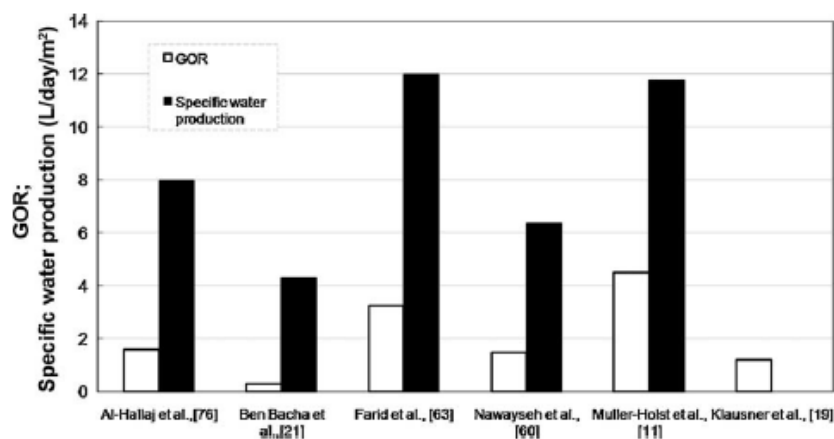


Figura 3.14 - GOR e produção específica de água de diversos sistemas (Narayan, G.P., *et al*, 2010).

3.4.2.2. Tecnologia HDH multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida

Este sistema tem o mesmo funcionamento do sistema acima descrito, com a diferença que neste o ar do humidificador é extraído de vários pontos do mesmo e fornecido ao desumidificador nos pontos correspondentes, que permite uma menor diferença do intervalo de temperatura permitindo uma maior recuperação do calor do desumidificador, originando um consumo de energia de 120 kWh/m³ (figura 3.15).

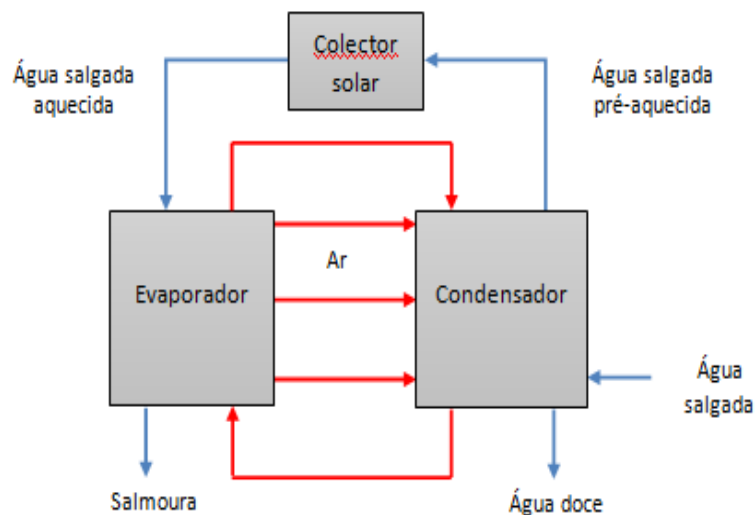


Figura 3.15 - Tecnologia HDH multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

3.4.2.3. Tecnologia HDH de ar aberto – água fechada de água aquecida

Neste sistema o ar é aquecido e humidificado no humidificador usando água quente do coletor solar, e depois é desumidificado usando a água de saída do humidificador. Antes da água ser pré-aquecida no desumidificador, entra no coletor solar, funcionando num ciclo fechado. O ar desumidificado é lançado para a atmosfera (figura 3.16).

Uma desvantagem deste ciclo é o facto de quando o processo de humificação não arrefece a água o suficiente, a temperatura da água no evaporador aumenta, isto limita a desumidificação do ar húmido, resultando numa produção reduzida de água em comparação com o ciclo de água aberta.

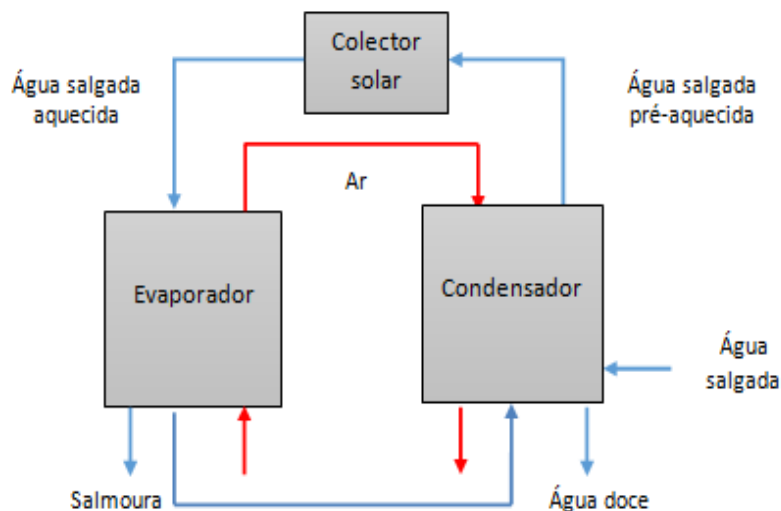


Figura 3.16 - Tecnologia HDH de ar aberto – água fechada de água aquecida (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

3.4.2.4. Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de ar aquecido

Estes sistemas podem ser de dois tipos: simples ou multi-efeito, em que o ar é aquecido no coletor solar até uma temperatura de 80-90 °C e é enviado para o humidificador, onde é arrefecido e saturado (figura 3.17). A maior desvantagem deste ciclo é que a humidade absoluta do ar, que pode ser conseguida a estas temperaturas é muito baixa, impedindo a produtividade do ciclo.

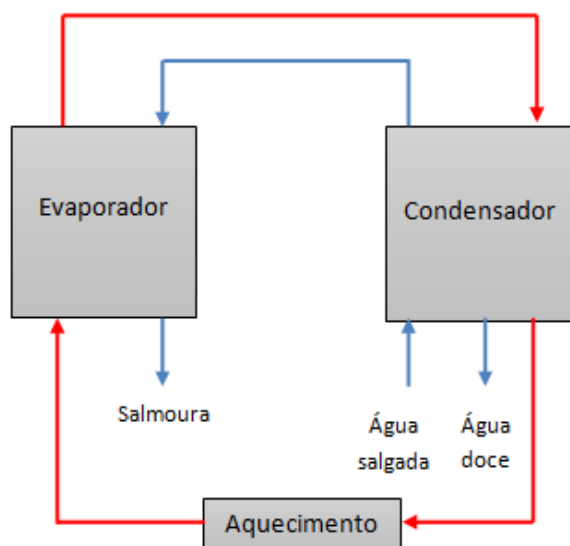


Figura 3.17 - Tecnologia HDH de ar fechado, água aberta de ar aquecido (adaptado de Narayan, G.P., *et al*, 2010).

Dos sistemas de HDH descritos, o sistema de multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida é o mais eficiente a nível energético, e têm vantagens para produção descentralizada de água de pequena-escala, que incluem pré-tratamento e requisitos de eliminação mais simples e operações e manutenção mais simplificados, comparativamente ao processo mais utilizado – osmose inversa.

3.5. Impactes ambientais

Os impactes ambientais mais importantes para uma instalação de dessalinização são: a localização da instalação, a rejeição da salmoura e o consumo de energia.

- Localização da instalação

Antes de mais, a instalação deve ser aceite pela comunidade, e estar localizada perto da origem de água (costa) e do local onde se vai realizar a rejeição da salmoura, assim a qualidade da água salgada não é comprometida e a distância à água do mar e ao local de rejeição é minimizada, reduzindo o risco de poluição e contaminação do solo (Tsiourtis, N.X., 2001). Deve ser realizado um EIA, e de acordo com as conclusões do estudo, deve ser seleccionado o local mais adequado do ponto de vista ambiental.

A água do mar deve ser de boa qualidade e o risco de poluição ou contaminação devem ser muito remoto, por exemplo, ser afastado de pontos de descarga de efluentes, como já foi referido.

- Rejeição da salmoura

Para além da água para consumo humano, a dessalinização produz também a salmoura, sendo este o sub-produto mais abundante do processo de dessalinização, e é caracterizado por ser uma água com elevado teor de sal. A salinidade da salmoura depende da salinidade da água de origem e da capacidade que cada processo tem de remover os sais desta água. Para os processos térmicos, também o aumento da temperatura (5 a 15 °C acima da temperatura do meio receptor) é uma característica da salmoura, uma vez que estes processos elevam a temperatura da água de modo a separar os sais da água (Mezher *et al.*, 2011), isto modifica não só a temperatura na zona de descarga, mas também a variabilidade sazonal inerente ao local. A distribuição biológica é alterada, afectando a abundância e distribuição das espécies (Tsiourtis, N.X, 2001).

Quanto à salinidade, a localização do ponto de rejeição (profundidade da água, distância da costa) desempenha um papel importante na rápida mistura com a água do mar e na diluição e difusão dos sais no manancial. Também o conhecimento das correntes predominantes na área e a topografia área são muito importantes para seleccionar o ponto mais adequado de descarte de salmoura (Tsiourtis, N.X, 2001).

- Consumo de energia

Outra das características dos processos de dessalinização é o facto de terem um consumo bastante elevado de energia. Na maioria das instalações de dessalinização são utilizados combustíveis fósseis, o que aumenta a emissão de gases de efeito estufa, com consequências nefastas para o ambiente. Assim, de modo a minimizar o consumo de energia e as emissões de gases, sugere-se a utilização de energia renovável, para suprir em parte as necessidades energéticas das instalações.

3.6. Projecto SelfWater – Protótipo de HDH de sistema de multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida

Este projecto foi desenvolvido pela empresa Self Energy, a partir da investigação do LNEG, que apoia a componente experimental do protótipo. Este projecto está especialmente vocacionado para o mercado local e regional, descentralizado das entidades gestoras do abastecimento de água e para resolução de situações limite onde as fontes de água potável apresentem contaminação salina.

O actual panorama do mercado de dessalinização de água do mar para consumo assenta em sistemas comerciais baseados em processos de osmose inversa e ultrafiltração cujo elevado consumo de energia eléctrica e elevados custos de instalação e exploração. O desafio é o desenvolvimento de um sistema de dessalinização SelfWater de humificação/desumificação com consumo reduzido e autonomia energética através de sistema solar térmico e fotovoltaico, colocando-o como uma vantagem face ao mercado.

O projecto SelfWater teve como objectivo o desenvolvimento de um protótipo de dessalinização de humificação-desumificação em ciclo fechado de ar, com recurso a energia solar térmica, como solução para o abastecimento descentralizado de água potável em pequena escala e com baixo consumo energético.

Como promotor, a Self Energy Inovation, traz ao projecto o seu largo conhecimento de mercado das energias renováveis e da auditoria energética. Os parceiros do SCT, o LNEG e o IPS-ESTS, trazem ao projecto o indispensável complemento de formação científica e aconselhamento enquanto a empresa Ambilogos assegura a especialidade de engenharia e produção de equipamentos em materiais termoplásticos.

O protótipo é constituído por:

- ✓ Circuito de água salgada
- ✓ Circuito de água quente salgada
- ✓ Circuito primário de água (AQS)
- ✓ Reservatórios de admissão do caudal
- ✓ Grupo de controlo hidráulico
- ✓ Câmara Dessalinizadora

• Funcionamento

É de referir que embora o evaporador e o condensador sejam representados nos esquemas como dois componentes separados, são duas câmaras concêntricas (figura 3.18), sendo a câmara exterior o condensador – 400 metros de tubagem lisa multicamada, que funciona como sistema de desumidificação através de condensação do vapor de água no permutador de calor percorrido pela água salgada, permitindo o pré-aquecimento desta e consequente recuperação de calor; e a câmara interior o evaporador – funciona como sistema de humificação através de um sistema de pulverização de água aquecida, resultando na água dessalinizada.

A câmara dessalinizadora tem um volume de 1 m³ (figura 3.19), na qual foi necessário garantir um bom isolamento térmico para um aproximar o sistema para um desempenho adiabático entre as duas câmaras.

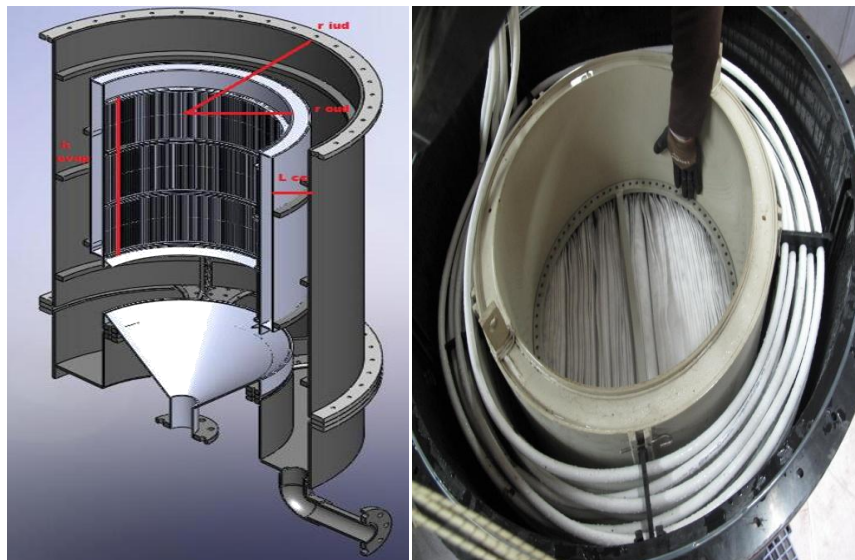


Figura 3.18 - Interior da Câmara dessalinizadora (SelfWater, 2010).

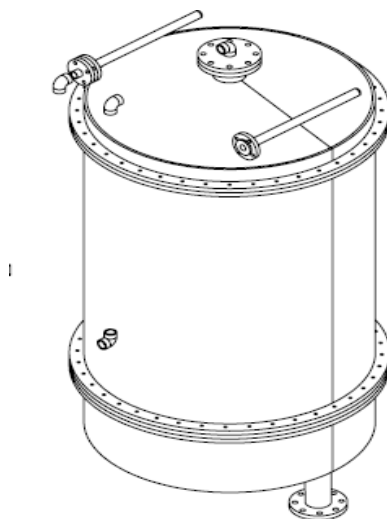


Figura 3.19 - Câmara dessalinizadora (SelfWater, 2010)

A água existente no reservatório de água salgada (figura 3.20) é aspirada pela electrobomba, e é introduzida no condensador, que permite uma boa transferência de calor (arrefecimento) entre a água fria que circula no seu interior e a câmara de condensação. A dissipação da energia na massa de vapor saturado dá-se por via de calor sensível e latente proveniente da condensação de vapor (figura 3.21).



Figura 3.20 - Reservatório de água salgada (SelfWater, 2010).



Figura 3.21 - Condensação (SelfWater, 2010).

Posteriormente a água pré-aquecida sai do condensador e passa por um permutador de placas, onde é aquecida por troca de energia com a fonte quente do circuito primário.

Este circuito primário (figura 3.22) serve para fornecer a energia de aquecimento, representando o equivalente solar, podendo simular qualquer dia do ano ou período anual, através da utilização uma electrobomba onde circula o caudal de água quente proveniente da mistura de água a diversos níveis do depósito de inércia com recurso a válvulas desviadoras e de mistura que permitem a permuta térmica entre a água salgada e a água do circuito primário.

Os vasos de expansão, na aspiração e compressão da bomba, têm a função de compensar as flutuações de volume e pressão derivados da dilatação da água quente nos circuitos do AQS.

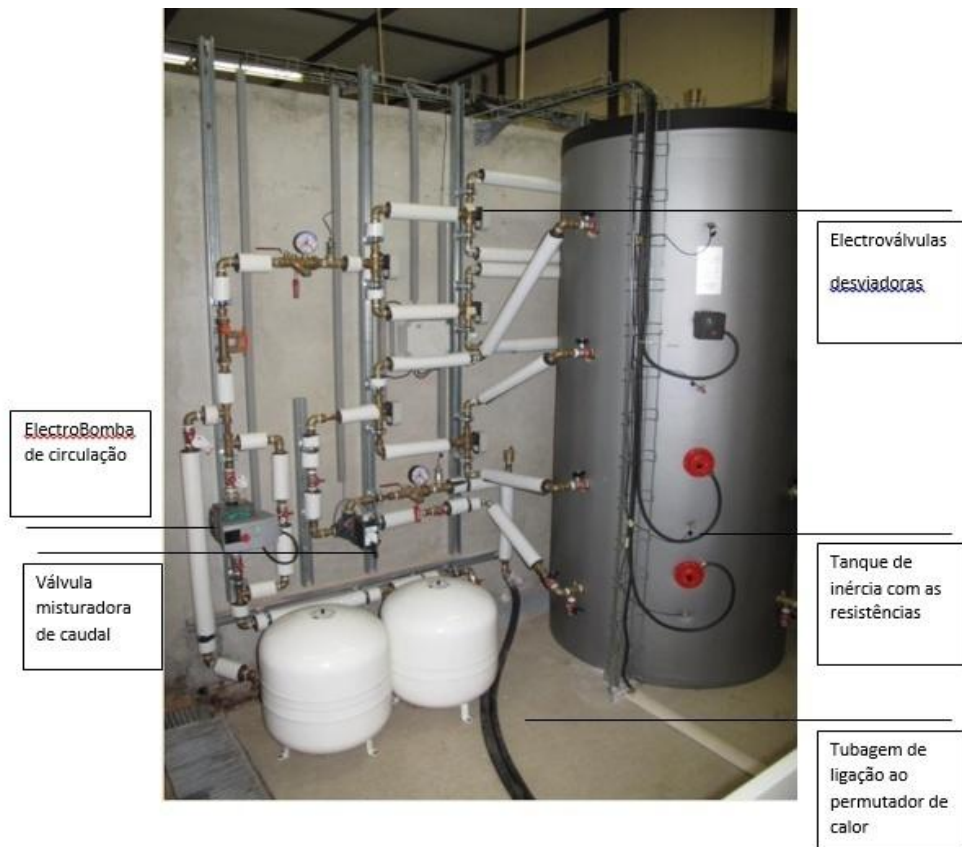


Figura 3.22 - Circuito primário (SelfWater, 2010).

De seguida, a água quente salgada segue para o evaporador onde é pulverizada por um chuveiro de modo a cobrir toda a área superficial da câmara de evaporação. Esta, por sua vez, contém “cestos” num número máximo de 4, com diferentes tipos de enchimento; tecido geotêxtil e “pall rings”, com o objectivo de aumentar a superfície específica de contacto com a água pulverizada, aumentando a transferência de massa e consequentemente aumenta o vapor que está condensado.

Uma vez que no evaporador circula vapor aquecido, a água pulverizada aquece e evapora, sendo este vapor de água transferido para o condensador, sendo depois recolhido como água doce no fundo do depósito. A água que não evapora é recolhida como salmoura no depósito.

A figura 3.23 apresenta um esquema do funcionamento do protótipo.

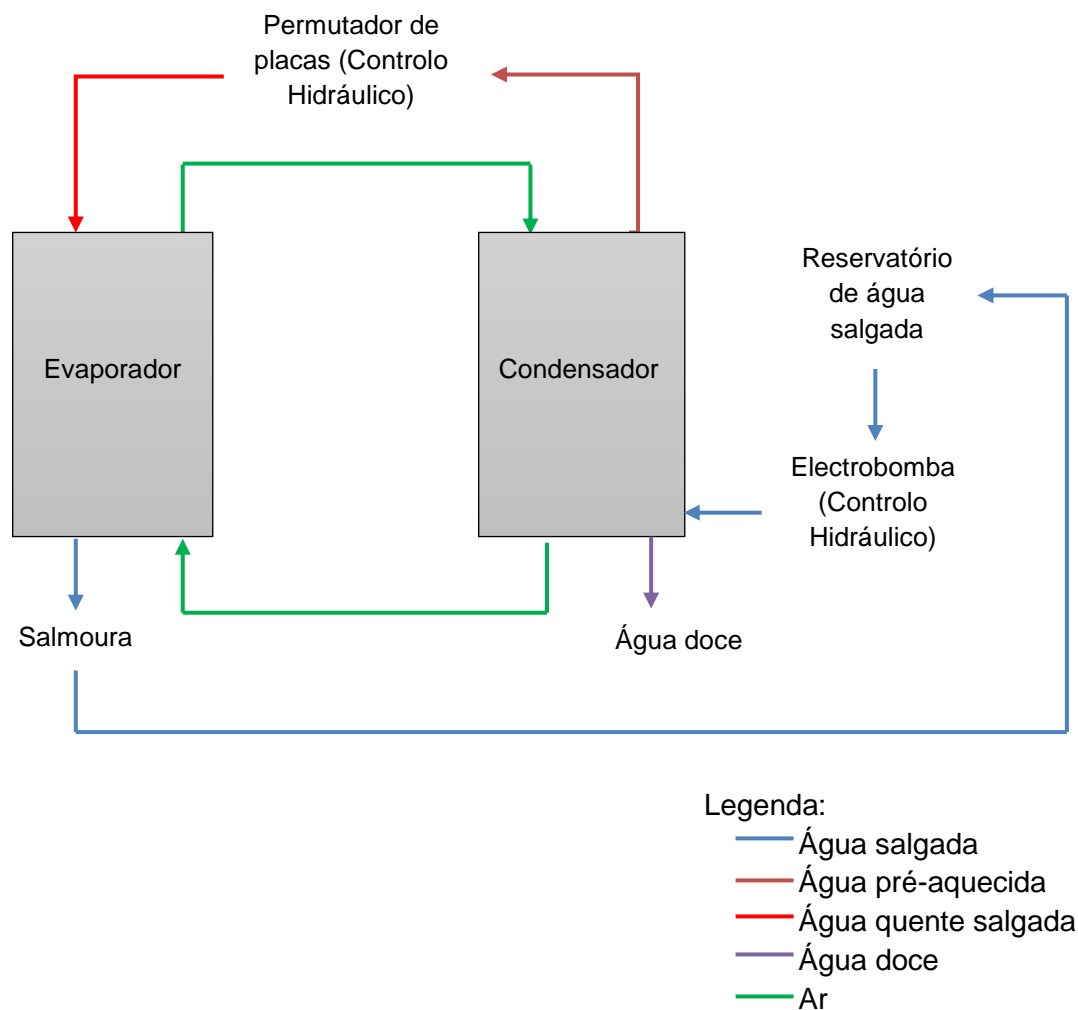


Figura 3.23 - Esquema de funcionamento do protótipo (adaptado de SelfWater, 2010).

• Testes

Este protótipo tem vindo a ser testado com a finalidade de medir a produção de água potável. Dos testes efectuados determinou-se que o protótipo funciona com um baixo consumo energético, comparado com as alternativas existentes, de 1500 a 2000 kJ/kg de água potável a partir do aproveitamento de energia térmica do sistema de colectores solares térmicos. Estima-se que venha a ter uma taxa de conversão de cerca de 25%, com produção de 50 a 250 L/dia e pode funcionar com condições de água salobra com condutividade de 5 mS/cm, até às condições de água salgada da costa atlântica de 50 mS/cm.

Contudo é preciso compreender que estes resultados são provisórios, uma vez que este projecto ainda está em desenvolvimento.

4. Estudo de caso

O Homem tem, desde sempre, seleccionado a zona costeira como local de fixação ou de passagem pela sua riqueza de recursos naturais terrestres e marinhos, exercendo pressões sobre esta zona, que contribuem para a degradação da paisagem, a sobre-exploração dos recursos e a poluição do ambiente, dando também origem ao desordenamento do território.

De forma a minimizar estas pressões, foi assumido um compromisso pelos países com zonas costeiras, no âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e desenvolvimento Sustentável realizada em 1992 no Rio de Janeiro, com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável e a gestão integrada das zonas costeiras e marinhas. A gestão da zona costeira é um tema bastante actual, não só por ser uma zona do território muito complexa, mas também por ser uma parte importante do país em termos económicos, ambientais e sociais, pelo que necessita de uma estratégia integrada.

O desafio que se propõe no âmbito desta dissertação é seleccionar uma pequena comunidade da zona costeira, onde seja relevante a problemática do abastecimento de água, e avaliar a possibilidade de satisfazer em parte as suas necessidades actuais recorrendo à produção descentralizada de água através da dessalinização por energia solar.

No sentido de seleccionar o estudo de caso, fez-se uma breve análise de duas zonas costeiras nacionais (costa de Ovar-Marinha Grande e Ilhas Barreira no Algarve) que incluiu o levantamento das características do local, a análise dos consumos e necessidades hídricas da população e condicionantes do sistema de abastecimento de água. Para a zona que se considerou mais relevante realizou-se o estudo do clima, de modo a compreender em que medida a dessalinização por energia solar pode ser uma alternativa ao actual abastecimento de água.

4.1. Selecção da zona costeira

4.1.1. Troço de costa entre Ovar e Marinha Grande

Este troço que se estende ao longo de cerca de 140 km, é uma zona com elevada densidade populacional, que possui diversas zonas balneares que no período do Verão conduzem a um aumento da população e consequentemente a um aumento do consumo de água. Este aumento sazonal do consumo de água origina uma elevada pressão nos recursos hídricos, tornando o sistema de abastecimento de água ineficaz.

A conciliação entre a conservação dos valores ecológicos, o uso público e o aproveitamento económico dos recursos exige uma abordagem integrada das limitações e potencialidades deste troço de costa, com vista à definição dos princípios de uso e ocupação que possibilite a integração de soluções estruturais para os problemas existentes.

Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/2000, de 20 de Outubro, o POOC de Ovar-Marinha Grande tem como objectivo conciliar os diversos valores em presença neste troço, mais particularmente valorizar, diversificar e garantir os usos e as funções da orla costeira; proteger os ecossistemas naturais e assegurar a exploração sustentável dos recursos; melhorar as condições de vida das populações. Em 2009, houve uma revisão do POOC OMG, com elaboração da revisão em Fevereiro de 2011, pelo consórcio CEDRU – Universidade de Aveiro.

Este POOC abrange 11 municípios: Aveiro, Ílhavo, Murtosa, Ovar, Vagos, Cantanhede, Figueira da Foz, Mira, Leiria, Marinha Grande e Pombal, indicados na figura 4.1.

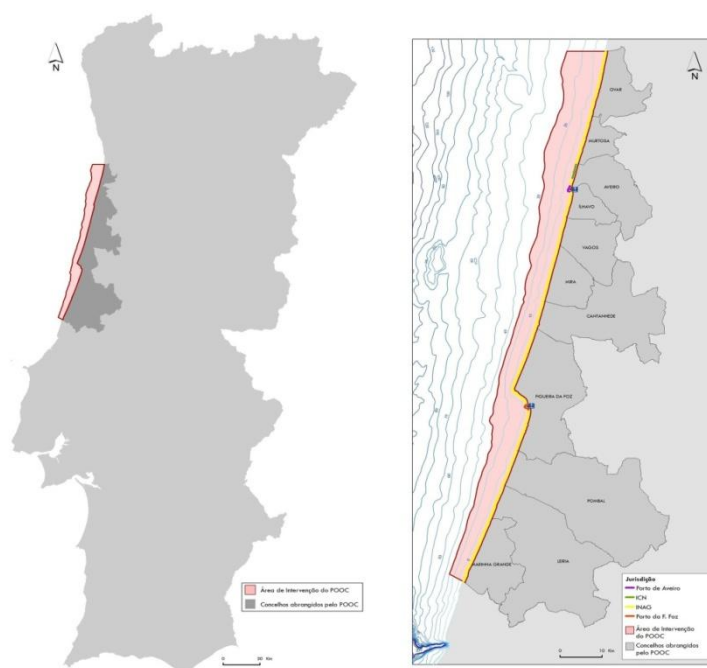


Figura 4.1 - Área de Intervenção (POOC OMG, 2011).

Pela observação do quadro 4.1, pode-se constatar que estes municípios têm elevada densidade populacional, como já foi referido acima.

Quadro 4.1 - Características dos municípios abrangidos (Pordata, 2013).

Município	Área (km ²)	Habitantes (2011)
Aveiro	198	77.884
Ílhavo	74	38.529
Murtosa	73	10.511
Ovar	148	55.169
Vagos	165	22.895
Cantanhede	391	36.480
Figueira da Foz	379	61.712
Mira	124	12.367
Leiria	565	126.551
Marinha Grande	187	38.725
Pombal	626	54.821

Os dados que se seguem foram obtidos através do Plano Municipal de Água pelo que apenas alguns Municípios do POOC são retratados mais especificamente.

✓ Aveiro

O concelho de Aveiro desfruta de dois importantes planos de água: a ria de Aveiro (águas salobras) na qual ainda são descarregados muitos efluentes industriais, e a Pateira de Fermentelos com alguns problemas de eutrofização. Por estas razões o concelho não dispõe de águas superficiais adequadas para o seu consumo, o que torna necessário recorrer a captações subterrâneas ao nível do Cretácico e ao Sistema Regional do Carvoeiro (SRC).

Em Aveiro os principais problemas são a dependência da capacidade de água em período de seca e a insuficiência dos caudais necessários à rega.

✓ Ílhavo

O concelho é atravessado por dois canais da Ria de Aveiro: Canal de Mira e Canal de Ílhavo, sendo que não possui cursos de água doce de grandes dimensões. Possui uma zona balnear vasta, destacando-se as praias da Barra e Costa Nova, resultando num aumento de população no Verão.

Em Ílhavo os principais problemas são a falta de gestão integrada ao nível do uso industrial (maior controlo das captações particulares); dificuldade a nível da disponibilidade para consumo industrial.

✓ Murtosa

Na área do concelho destaca-se a extensa área ocupada pela Ria de Aveiro, nomeadamente os canais de Ovar e da Murtosa, importantes recursos turísticos e recreativos. Tal como Ílhavo, a Murtosa também possui uma zona balnear, Praia da Torreira, um importante recurso turístico que resulta no aumento da população no período de Verão.

A inexistência de água superficial para consumo, leva a que a água de abastecimento seja fornecida na totalidade pelo Sistema Regional do Carvoeiro (SRC).

Na Murtosa o principal problema é o abastecimento de água da população flutuante no Verão.

✓ Ovar

Este concelho está integrado em duas bacias hidrográficas: Bacia do Rio Vouga a Sul e Bacia do Rio Douro a Norte. Também neste concelho existe uma zona balnear, que integra as praias do Furadouro, Esmoriz e Cortegaça, promovendo um aumento populacional significativo no período de Verão.

A água de abastecimento público tem origem em captações subterrâneas próprias e nos Sistemas Multimunicipais Águas Douro e Paiva e Águas do Carvoeiro.

Em Ovar também o abastecimento de água da população flutuante no Verão é o principal problema.

✓ Vagos

O concelho de Vagos caracteriza-se pela existência de duas zonas balneares, a praia da Vagueira e outra na Ria, a Sul da Ponte da Vagueira, sendo importantes recursos turísticos, facto que resulta no aumento da população no período do Verão e consequente aumento do consumo de água.

O abastecimento de água no concelho de Vagos subdivide-se em três Zonas de Abastecimento (ZA) cada uma com um furo de captação.

Em Vagos o principal problema é arranjar uma alternativa à utilização intensiva das captações subterrâneas.

✓ Mira

O concelho de Mira possui duas zonas balneares: Praia de Mira e Praia do Poço da Cruz, resultando num aumento da população no Verão.

Embora seja atravessado por várias linhas de água, o abastecimento de água é exclusivamente realizado através de captações subterrâneas.

Em Mira é necessário não só encontrar uma alternativa à utilização intensiva das captações subterrâneas, mas também garantir o abastecimento de água da população flutuante no Verão.

Verifica-se que em alguns concelhos a totalidade da água captada é de origem subterrânea (Mira e Vagos). Apenas nos concelhos de Murtosa a água captada é na sua totalidade de origem superficial, a partir do Sistema Regional do Carveiro (SRC).

Na figura 4.2 apenas são analisados os dados de captação de água subterrânea e superficial para a rede de abastecimento público, o volume de água captada de origem subterrânea por particulares (poços, furos) não é conhecido nem quantificado. Portanto a percentagem de água subterrânea captada é efectivamente maior. É importante compreender esta situação, uma vez que existem muitas captações de unidades industriais e agrícolas, sem qualquer tipo de controlo do volume verdadeiramente captado.

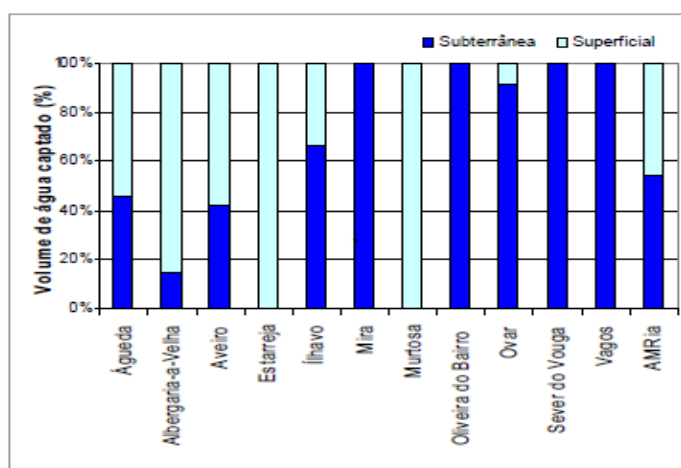


Figura 4.2 - Volume de água captada superficial e subterrânea (Plano Municipal de Água, 2006).

Uma vez que não existe qualquer sistema ou infra-estrutura de armazenamento fluvial, a água superficial é directamente captada e introduzida no sistema de abastecimento, o que conduz a maiores dificuldades em garantir abastecimento eficaz no período do Verão e em anos de seca.

4.1.1.1. Consumos hídricos

Através da análise da figura 4.3 é possível verificar que o consumo de água é maior no sector doméstico, em qualquer um dos concelhos, sendo maior no concelho de Ílhavo, e menor no concelho de Estarreja, onde o sector industrial tem o mais elevado consumo de água (cerca de 32%). Para Mira não há dados disponibilizados de consumo de água.

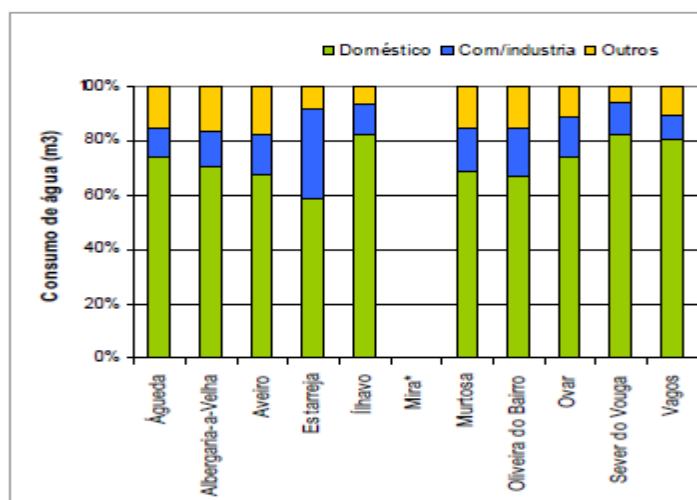


Figura 4.3 - Consumos por sector (Plano Municipal de Água, 2005).

Na figura 4.4 é possível observar os consumos de água de cada município em 2009. O consumo de água mais elevado verifica-se no município de Leiria e o menor consumo no município de Vagos. Estes consumos estão relacionados com o número de habitantes residentes em cada município, ou seja, nos municípios em que há mais habitantes o consumo de água é mais elevado (quadro 4.1). Para o município da Murtosa não foram disponibilizados dados de consumo de água.

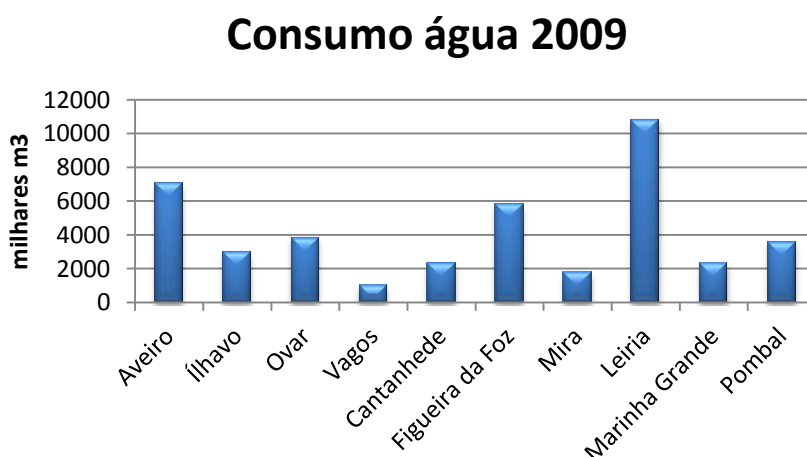


Figura 4.4 – Consumo de água em 2009 (adaptado de Pordata, 2009).

4.1.2. Ilhas barreira Algarve

As Ilhas Barreira no Algarve são ilhas que proporcionam excelentes condições balneares, e por isso estão sujeitas a grande pressão turística, essencialmente no período de Verão. Para além disto, até 2009 apenas a Ilha da Armona tinha abastecimento de água da rede, o que criava problemas uma vez que a captação de água era feita através de furos,

com baixa qualidade da água para consumo, obrigando os moradores a comprar água engarrafada para confeccionar comida. Por estas razões, as Ilhas Barreira foram seleccionadas como uma das zonas costeiras para análise do estudo de caso.

A área da ria é constituída por cinco ilhas (Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas), e por inúmeros ilhotes.

Ao longo dos anos, estas ilhas têm sido povoadas, inicialmente por pequenas comunidades que exploravam os recursos piscícolas e que se foram alastrando passando a ocupar as ilhas de uma forma permanente, sendo que este crescimento levou ao aumento do consumo de recursos bem como o aumento de resíduos produzidos, pondo em causa o desenvolvimento do sistema urbano e a continuidade da ria.

O valor patrimonial associado à paisagem natural defendida pela Rede Natura 2000, levou à criação do parque natural da Ria Formosa através do Decreto-Lei n.º 373/87 de 9 de Dezembro, cujo objectivo é, entre outros, a promoção do desenvolvimento económico, social e cultural da região, principalmente da população residente, mas que seja compatível com os valores naturais e culturais que caracterizam toda uma paisagem humanizada.

Deste conjunto de ilhas, verifica-se que é nas ilhas da Armona e Culatra que os problemas de gestão são mais preocupantes, colocando inclusive em causa a continuidade da própria ria (Sousa, B.D.B., 2010).

A Ilha da Armona pertence ao concelho de Olhão e, está integrada no Parque Natural da Ria Formosa. No núcleo da Armona foram identificadas as zonas de lazer, eixos pedonais, e elementos urbanos nomeadamente parque de campismo e zonas comerciais.

A Ilha da Culatra pertence ao concelho de Faro e tem três núcleos populacionais: Culatra, maioritariamente habitado por pescadores mas também por alguns turistas no Verão; Hangares; e Farol, ocupada principalmente no Verão por turistas. O núcleo da Culatra é o núcleo com maior número de habitantes residentes, e por isso aquele que apresenta maior número de elementos urbanos: escola, junta de freguesia, centro de saúde, zonas de lazer e mercearias. No núcleo do Farol, encontra-se cafés, associação do Farol e pequenos bares junto à linha de praia. O núcleo de Hangares é caracterizado por casas de segunda habitação, com ausência de elementos urbanos (figura 4.5).



Figura 4.5 - Localização dos núcleos das Ilhas (Google Maps, 2013).

Segundo Sousa, B.D.B., em 2009 as ilhas da Culatra e Armona tinham índices de ocupação elevados, com cerca de 1100 e 800 habitantes, respectivamente, como se pode observar na figura 4.6.

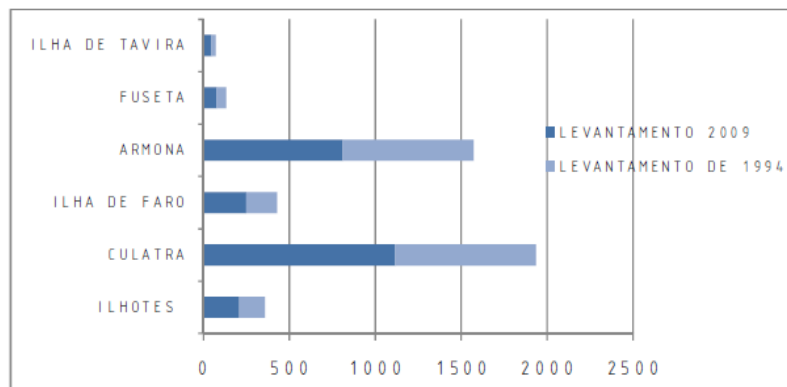


Figura 4.6 - População das ilhas da Ria Formosa (Sousa, B.D.B, 2010).

No núcleo da Culatra, a maioria é população residente permanente. O núcleo do Farol, Hangares e Armona, tem o seu pico de ocupação no Verão, maioritariamente com moradia de segunda habitação. Por isso, é possível perceber que os núcleos do Farol, Armona e Hangares apresentam uma maior pressão antrópica no Verão, enquanto na Ilha da Culatra esta pressão é elevado o ano inteiro, devido à população residente.

Como já foi referido anteriormente, até 2009 apenas a Ilha da Armona tinha rede de distribuição e era abastecida por uma conduta que atravessava a ria com algumas limitações, as restantes comunidades das ilhas barreira, não tinham acesso a bens essenciais como água potável e luz, o abastecimento de água era autónomo de cada habitação, com poço próprio ou comunitário.

O abastecimento na ilha da Armona é realizado a partir da ETA de Tavira, abastecida pelas barragens de Odeleite e Beliche, por uma conduta adutora entre o continente e esta ilha, onde é entregue a um reservatório com 1100 m³. Este reservatório está ligado a uma estação sobrepessora que estabelece ligação com a rede de distribuição da ilha. Como já foi referido anteriormente, apenas a partir de 2009 a Ilha da Culatra começou a ser abastecida ser servida pelo sistema multimunicipal de abastecimento das Águas do Algarve, através de uma conduta desde a derivação para o ponto de entrega da Ilha da Armona até ao ponto de entrega da Ilha da Culatra (Águas do Algarve, 2010).

Actualmente não existem problemas no sistema de abastecimento, mas em caso de eventual rotura da conduta, ou problemas de abastecimento, poderá exigir a interrupção do abastecimento de água, para reparação da mesma, por períodos bastante longos e dependente de diversos factores, como estado do mar (Águas do Algarve, 2013).

Embora a ETA de Tavira se destine a distribuição de água no Sotavento Algarvio, nos últimos anos também tem sido realizado o abastecimento do Barlavento Algarvio, devido à escassez de água por falta da conclusão da barragem de Odelouca.

Uma vez que há, cada vez mais, uma maior consciência relativa à escassez de água, há necessidade de encontrar alternativas para que possamos contornar esta situação, por exemplo a dessalinização.

Em 2005, o então Ministro do Ambiente (Nunes Correia) e o Presidente das Águas de Portugal (Pedro Serra), enfatizaram a ideia de que a dessalinização em Portugal “Está absolutamente fora de questão”.

Contudo, também em 2005, as Águas do Algarve, no âmbito do estudo de um sistema de dessalinização para a Ilha da Culatra referiram que “A dessalinização aparece como uma das principais origens alternativas às origens superficiais e subterrâneas passíveis de serem utilizadas na região do Algarve. Numa região turística com uma grande sazonalidade dos consumos, é fundamental o recurso a soluções alternativas para garantia do abastecimento público, pelo que a exploração conjunta, complementar e integrada de diversas origens de

água alternativas como água superficial, subterrânea e água do mar, será uma hipótese adequada” (Águas do Algarve, 2005).

Em 2009, Mendes Bota (Deputado do PSD), veio também defender que “A dessalinização deve ser encarada, para já, como um complemento estratégico dos recursos subterrâneos e da água das barragens. Fazem falta duas dessalinizadoras públicas, uma a Sotavento e outra a Barlavento. Trata-se de um recurso inesgotável, disponível, acessível, logo de grande estabilidade”. (Bota, M., 2009).

4.1.2.1. Consumos hídricos

Da análise do quadro 4.2 é possível verificar que na Ilha da Culatra e da Armona, o consumo de água é maior nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, o que está relacionado com o aumento da população nos meses de Verão. Este aumento é maior na Ilha da Armona, comparativamente à Ilha da Culatra, uma vez que a Ilha da Armona é uma ilha com maior intensidade turística.

Quadro 4.2 - Consumo de água (Águas do Algarve, 2012).

		Culatra	Armona
Consumo de água 2012 (milhares m ³)	Jan	6,506	3,933
	Fev	5,894	3,43
	Mar	6,372	4,7
	Abr	6,555	5,298
	Mai	6,633	6,089
	Jun	8,265	7,818
	Jul	10,242	12,053
	Ago	13,408	15,572
	Set	7,653	6,248
	Out	6,761	4,006
	Nov	6,081	2,884
	Dez	5,979	2,874
	Total	90,349	74,905

Consumo água 2012

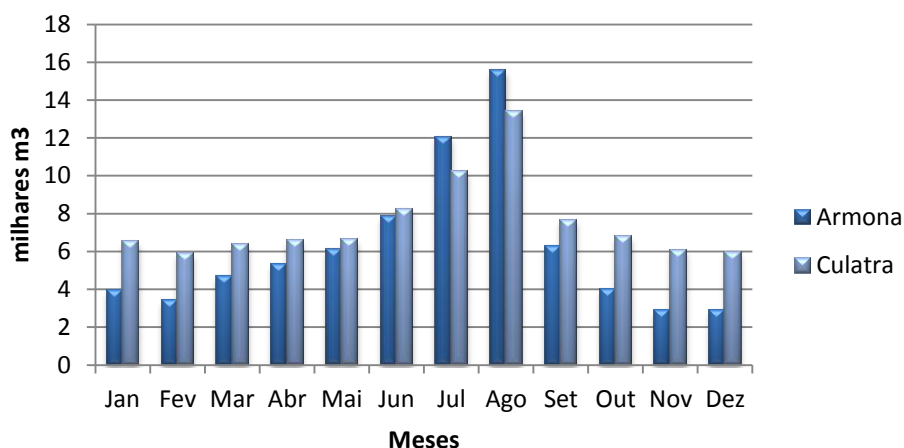


Figura 4.7 - Consumo de água (Águas do Algarve, 2012).

O estudo de caso escolhido foi a Ilha da Culatra, porque esta Ilha pode ser realmente assumida como uma pequena comunidade (cerca de 1100 habitantes), e possivelmente o contributo de um sistema de dessalinização de pequena escala terá maior impacto neste local do que em qualquer um dos municípios do troço Ovar – Marinha Grande, uma vez que estes municípios têm elevados consumos de água, e portanto o sistema de dessalinização de pequena escala não iria ser satisfatório como alternativa de abastecimento de água.

Seguidamente será efectuada uma breve caracterização do clima de Faro, uma vez que é a este concelho que pertence a Ilha da Culatra, que será útil para uma avaliação inicial do potencial de aplicação de um sistema de dessalinização por energia solar.

4.2. Caracterização do clima

A região do Algarve apresenta um clima tipicamente mediterrâneo, com uma estação seca, que atinge os cinco meses, e um Inverno suave, com precipitação escassa (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa, 2009).

4.2.1. Temperatura

Grande parte do território algarvio regista uma temperatura média diária igual ou superior a 15°C, como observado na figura 4.8.

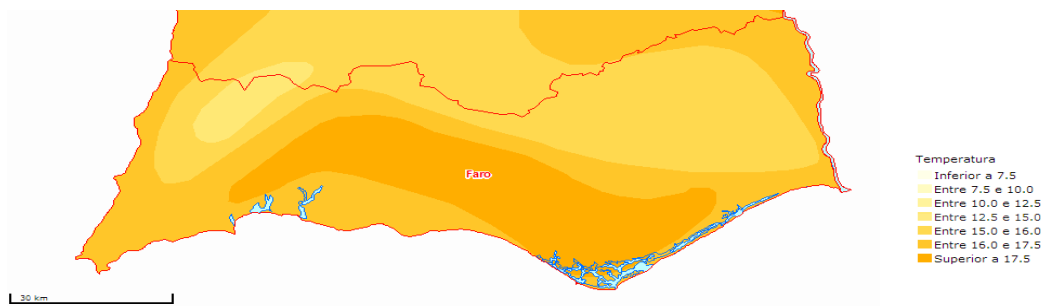


Figura 4.8 – Temperatura média mensal (Atlas do Ambiente [Normais Climatológicas 1931-1960], 2013).

Em Faro, os meses mais quentes correspondem aos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro, com temperaturas médias diárias a oscilar entre os 21,9 °C e os 24,2 °C. Os meses mais frescos correspondem aos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, com temperaturas médias diárias a oscilar entre o 7,9 °C e 9,6 °C (figura 4.9). Em Julho, verificou-se uma temperatura máxima de 44,3 °C

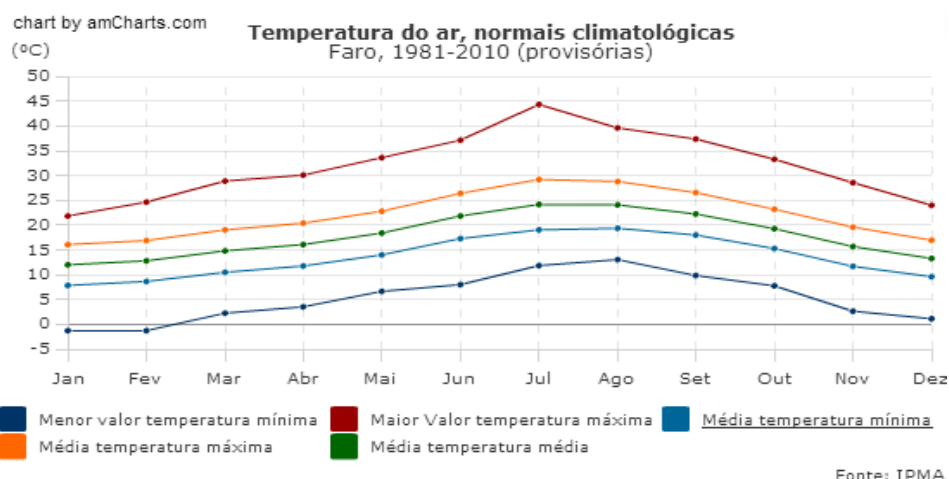


Figura 4.9 - Temperaturas médias (IPMA, 2010).

4.2.2. Precipitação

Os diferenciais regionais de pluviosidade devem-se às variações de posição, aumentando de uma forma gradual do litoral para o interior e, diminuindo progressivamente de Oeste para Este, por especial incidência do relevo (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa, 2009) (figura 4.10).

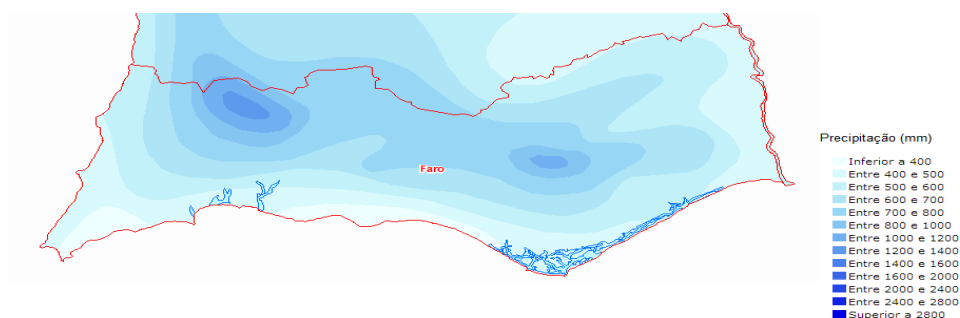


Figura 4.10- Precipitação média mensal (Atlas do Ambiente [Normais Climatológicas 1931-1960], 2013).

Como se pode observar na figura 4.11 em Faro os valores máximos de precipitação ocorrem entre os meses de Outubro e Fevereiro, havendo quatro meses secos (meses em que a temperatura é pelo menos o dobro da precipitação) que correspondem aos meses de Maio a Setembro. Nestes meses em que a temperatura é mais elevada, e há mais necessidade de água, é precisamente quando há menor precipitação, podendo ocorrer escassez de água.

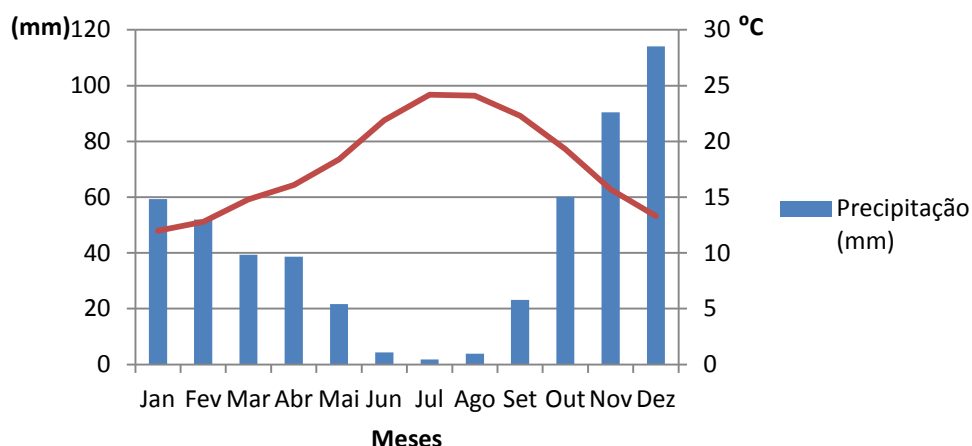


Figura 4.11 - Relação entre a temperatura e precipitação (adaptado de IMPA, 2010).

4.2.3. Radiação solar

No Verão, o máximo de radiação solar ocorre no litoral algarvio, onde se registam valores mensais superiores a 165 kWh/m^2 , como é o caso de Faro (figura 4.12). Este facto é explicado pela latitude e a proximidade do mar – as regiões do Sul recebem sempre maior quantidade de radiação solar, devido à menor inclinação dos raios solares.

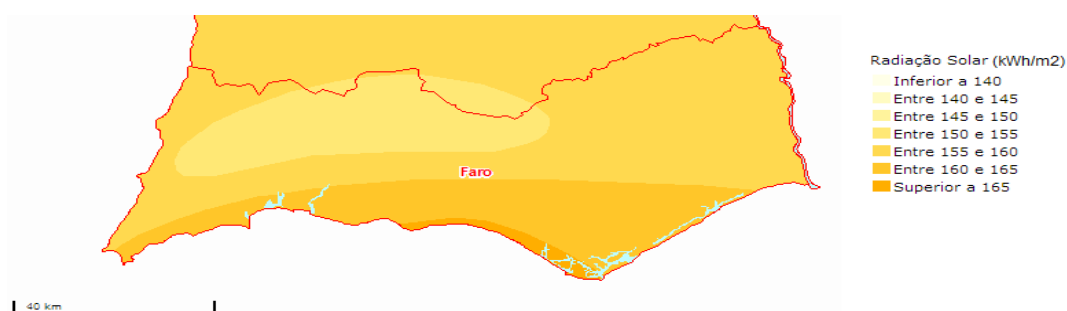


Figura 4.12 - Radiação solar média mensal (Atlas do Ambiente [Normais Climatológicas 1931-1960], 2013).

4.2.4. Insolação

A insolação é o número de horas de sol descoberto acima do horizonte. Também a insolação é explicada pela inclinação dos raios solares, que determina que as vertentes voltadas a sul estejam mais expostas ao sol, como tal tenham maior insolação e consequentemente maior será a quantidade de energia recebida na superfície terrestre.

Grande parte da região algarvia apresenta no mínimo 2900 horas de sol, sendo que Faro tem uma insolação superior a 3100 horas, como se pode observar na figura 4.13.

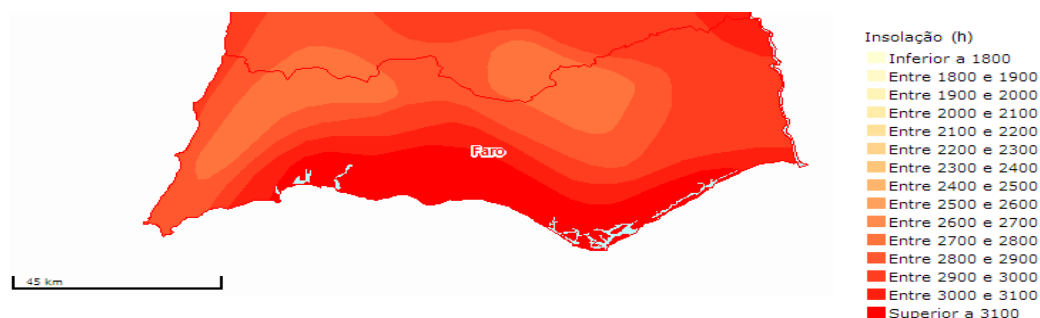


Figura 4.13 – Insolação média mensal (Atlas do Ambiente [Normais Climatológicas 1931-1960], 2013).

Em Portugal Continental a temperatura média anual, no período de 1976 a 2006, aumentou cerca de 0,5 °C por década, e registou-se um pequeno decréscimo da precipitação média anual, no período de 1961 a 2006, na ordem dos 30 a 60 mm por década (EEA, 2008). Como consequência das alterações climáticas, é provável que estas tendências se mantenham, e que aumente a frequência e intensidade de fenómenos climáticos extremos, como as secas. Por isso, e considerando as actuais necessidades de água e características do clima nesta região, associadas à sazonalidade, a dessalinização deve ser encarada como uma alternativa aos recursos subterrâneos e água das barragens.

4.3. Dimensionamento do sistema de dessalinização por energia solar

4.3.1. Análise de desempenho térmico e pré-dimensionamento de uma instalação solar para dessalinização por HDH

Para realizar um pré-dimensionamento é necessário conhecer o clima e detalhes locais, estabelecer a configuração do sistema solar e atribuir as cargas, possibilitando a compreensão do balanço energético da instalação, bem como uma análise dos benefícios em termos de redução de consumos de energia fóssil e emissões de gases com efeito de estufa evitadas.

O objectivo global ao pré-dimensionar uma instalação solar para dessalinização é poder fazer uma avaliação global do sistema, e compreender até que ponto a instalação solar pode ser vantajosa como suporte a um sistema de dessalinização. Esta avaliação global pode criar uma base para a tomada de decisões, contudo deve-se ter consciência de que as estimativas de desempenho são fortemente condicionadas pela meteorologia e pelo consumo.

4.3.2. SolTerm

O **SolTerm** é um programa de análise de desempenho e pré-dimensionamento de sistemas solares elaborado pelo LNEG, sobretudo vocacionado para o clima de Portugal.

Através deste programa consegue-se dar apoio e sustentar estudos de viabilidade da utilização da energia solar, realizar uma avaliação objectiva e independente de projectos, bem como educação e sensibilização em energia e sustentabilidade.

O **SolTerm** contém uma climatologia para os 308 Concelhos de Portugal, a nível horário, e bancos de dados modulares de componentes, permitindo simular a operação da grande maioria das configurações de sistemas solares, explorar as vertentes económica e de benefícios ambientais, e assim fazer o pré-dimensionamento e conduzir ao adequado dimensionamento de sistemas solares. O **SolTerm** é ainda utilizado na contabilização da contribuição de sistemas de energias renováveis para o balanço energético de edifícios, no contexto do Sistema de Certificação de Edifícios, Decretos-Lei 78, 79 e 80/2006, de 4 de Abril, representando assim uma ferramenta indicada para um amplo e variado grupo de profissionais e outros interessados em energia solar, donde se destacam as entidades ligadas ao ensino, investigação e sensibilização ambiental, e particulares e empresas que procuram uma apreciação objectiva e independente das potencialidades da aplicação de energia solar em casos concretos e das propostas e projectos que lhes são apresentados.

4.3.3. Pressupostos do dimensionamento

A análise de desempenho de um sistema solar através do programa **SolTerm** é uma simulação energética sob condições quasi-estacionárias, ou seja, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos (5 minutos), durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema.

Nestas simulações são usadas informações sobre a irradiação solar horizontal e temperatura ambiente em base horária, configuração/dimensionamento do sistema, características técnicas dos componentes (colectores, armazenamento), consumo/carga do sistema em base horária média mensal.

✓ Clima

Nesta interface encontra-se toda a informação relativa ao recurso solar que permite simular o desempenho dos sistemas solares, utilizando os seguintes parâmetros de referência:

- ✓ Irradiação solar horizontal – energia média diária da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m^2). A radiação global é a soma das componentes directa e difusa.

- ✓ Temperatura ambiente – temperatura do ar de um determinado local.

O banco de dados de Clima distribuído como parte do **SolTerm**, contém Anos Meteorológicos de Referência (conhecidos por TRY de acordo com a sigla inglesa correspondente a Typical Reference Year) para 308 Concelhos de Portugal, compatíveis com o Sistema de Certificação de Edifícios, vd. Decreto-Lei n.º 78, 79 e 80/2006, de 4 de Abril.

✓ Configuração do sistema

De modo a analisar o desempenho de um sistema solar é necessário estabelecer a sua configuração, por exemplo, se é com depósito ou sem depósito, modelos do colector ou módulo, sistema de apoio, as cargas a satisfazer (consumos térmicos ou eléctricos), e ainda algumas características como orientação dos colectores/módulos – estas informações constituem um “Projecto”.

A configuração básica de um sistema solar térmico inclui: um circuito primário (solar) que engloba os colectores, permutador e o depósito; e um circuito secundário que interliga a água quente no depósito e as cargas térmicas (consumos de energia na forma de água quente), bem como um sistema de apoio que complementa a energia de origem solar de forma a atingir a energia requerida pelas cargas térmicas (figura 4.14).

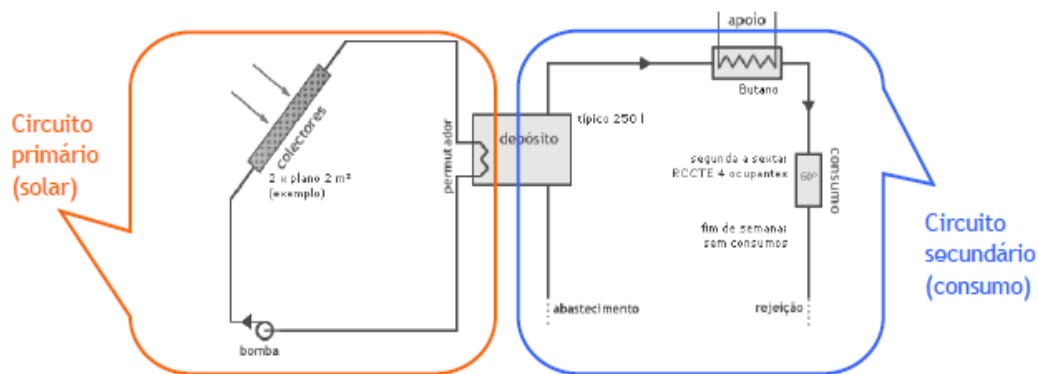


Figura 4.14 - Circuito primário e secundário de um sistema solar (Manual SolTerm, 2012).

A variante com depósito é geralmente mais interessante do ponto de vista energético e frequentemente também do ponto de vista económico.

✓ Colectores

Relativamente aos colectores é necessário especificar o modelo de colector a utilizar, número de colectores que constituem o painel, e informações sobre orientação dos colectores em inclinação (em relação à horizontal) e azimute.

✓ Depósitos e permutadores

O **SolTerm** considera o conjunto depósito/permutador como um componente, sendo possível definir o volume do depósito.

✓ Cargas térmicas (consumos)

Esta informação é das mais importantes para analisar o desempenho de um sistema solar. Trata-se contudo de uma variável que não se refere ao sistema em si, mas à utilização futura do sistema, em condições em grande medida desconhecidas.

Além dos perfis diários médios, é necessário especificar pelo menos as temperaturas da água de consumo. Se o sistema solar dispõe de água para fornecer acima desta temperatura nominal, assume-se que ela é misturada com água fria, senão é aquecida pelo sistema de apoio.

• Análise Energética

Terminada a configuração de um Projecto térmico, é possível fazer uma análise energética do sistema.

A simulação efectuada pelo **SolTerm** é uma simulação anual, usando a informação meteorológica do Ano Meteorológico de Referência seleccionado. Contudo, apenas são apresentados valores mensais, já que os valores na escala de minutos constituem uma massa de dados difícil de analisar.

Além de valores mensais relativos a balanços energéticos, o **SolTerm** apresenta ainda alguns parâmetros de desempenho ao nível mensal e anual:

✓ Radiação horizontal – energia acumulada (mensal ou anual) da radiação solar global na horizontal à superfície, por unidade de área (kWh/m²).

✓ Radiação Inclinada – energia acumulada (mensal ou anual) da radiação solar global à face dos colectores solares, por unidade de área (kWh/m²), portanto num plano inclinado.

✓ Desperdiçado – energia acumulada (mensal ou anual) que o sistema solar recolhe mas tem de dissipar (kWh).

✓ Fornecido – energia acumulada (mensal ou anual) que o sistema fornece para consumo (kWh). Trata-se de energia final útil, i.e. efectivamente entregue.

✓ Carga – valor acumulado (mensal ou anual) da energia solicitada para consumo (kWh).

✓ Apoio – energia acumulada (mensal ou anual) entregue para consumo pelo sistema de apoio, ou auxiliar, para complementar a energia fornecida pelo sistema solar (kWh).

Quanto aos índices anuais, são apresentados os seguintes:

✓ Fracção solar – trata-se da percentagem de energia útil fornecida para consumo a partir de radiação solar (razão “Fornecido” / “Carga” em valores anuais). Em geral procura-se atingir uma fracção solar (anual) entre 40% e 90%. Abaixo desta gama o sistema estará em geral subdimensionado; acima desta gama é frequente que esteja sobredimensionado.

✓ Rendimento do sistema – trata-se da razão entre a energia de origem solar fornecida para consumo e a disponível à face dos colectores. É portanto uma medida da eficácia do sistema solar em transferir energia da radiação solar para a carga. Um sistema bem dimensionado terá tipicamente rendimentos entre 20% e 60%, conforme as características do clima e da carga térmica.

✓ Produtividade – trata-se de uma energia específica, a energia de origem solar fornecida para consumo por unidade de área dos colectores. Este índice é apresentado frequentemente, contudo é muito dependente dos detalhes do consumo, e em particular do nível de recurso solar. Valores abaixo de 200 kWh/m², indicam um dimensionamento incorrecto; contudo valores elevados não são garantia de um bom dimensionamento.

Em todo o caso, um pré-dimensionamento de sistemas autónomos bem feito do ponto de vista energético tem em geral as seguintes características: o sistema fornece entre 50% e 95% da energia requerida pela carga, podendo ser de 100% nalguns meses, tipicamente os de Verão; e desperdiça menos de 2% da energia captada.

- Benefícios Ambientais

Para além da análise energética, também é possível analisar as reduções do uso de energia fóssil e de emissões de GEE calculadas a partir da energia primária deslocada pelo uso do sistema solar.

4.3.4. Dimensionamento do sistema solar

- Escolher a localização

O local escolhido foi Faro, uma vez que é a esse concelho que pertence a Ilha da Culatra. Na figura 4.15 é possível visualizar gráficos de irradiação solar e horizontal para o concelho de Faro, que atingem valores mais elevados nos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto).

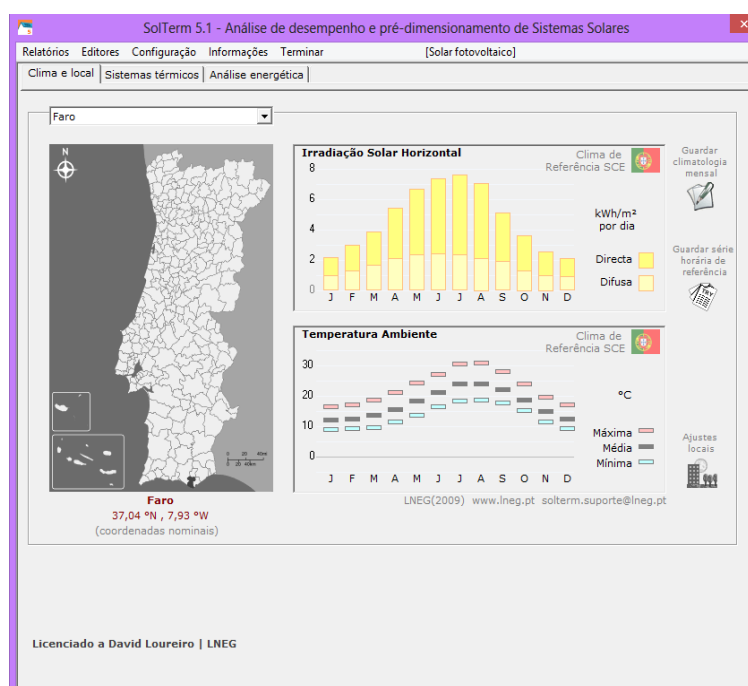


Figura 4.15 - Clima do local escolhido (SolTerm, 2012).

- Configuração do sistema

Relativamente à configuração do sistema, escolheu-se um sistema de reciclagem de água consumida, uma vez que não se vai consumir a água aquecida pelo sistema solar térmico, esta apenas vai servir para aquecer a água salgada; e com recurso a depósito.

✓ Como se pode observar na figura 4.16, escolheu-se colectores solares nacionais da marca Vulcano, modelo FKT - 1S/1W, num total de 20 colectores, perfazendo uma área de 41,5 m². Uma vez que o valor médio anual da inclinação do painel deve corresponder ao valor da latitude do lugar menos 5° (Benito, T.P., 2010), obteve-se uma inclinação de 32°, com azimute Sul;

✓ Fez-se duas simulações, uma para um depósito de 2000 L e outra para um depósito de 3000 L;

✓ Quanto ao sistema de apoio, que entra em funcionamento quando o sistema solar não é suficiente, optou-se por utilizar electricidade da rede.

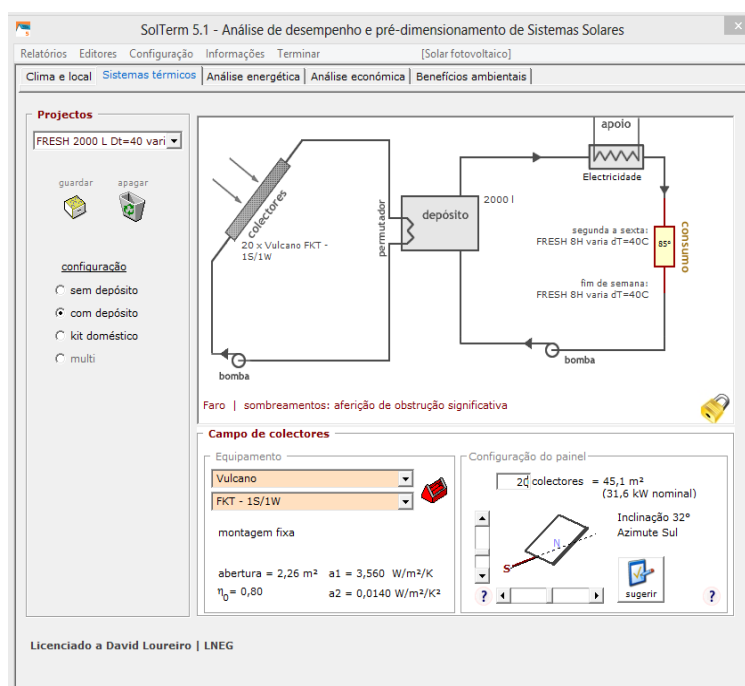


Figura 4.16 – Configuração do sistema solar (SolTerm, 2012).

- Consumo

Através dos dados de consumo de água da ilha, determinou-se a carga em L/dia, para melhor definir a quantidade de água a produzir. Uma vez que a água a produzir irá servir exclusivamente para consumo humano (beber e cozinhar), da água actualmente consumida também só se considerou esta parte, que representa cerca de 7%. Como o

sistema de dessalinização é de pequena escala, não irá produzir a totalidade desta água, mas apenas 5% destes 7% (quadro 4.3).

Quadro 4.3 - Cálculo da carga.

Culatra	m3	L/dia	7% (L/dia)	Água a produzir (5% dos 7%) (L/dia)
Jan	6506	209871	14691,0	734,5
Fev	5894	203241	14226,9	711,3
Mar	6372	205548	14388,4	719,4
Abr	6555	218500	15295,0	764,8
Mai	6633	213968	14977,7	748,9
Jun	8265	275500	19285,0	964,3
Jul	10242	330387	23127,1	1156,4
Ago	13408	432516	30276,1	1513,8
Set	7653	255100	17857,0	892,9
Out	6761	218097	15266,8	763,3
Nov	6081	202700	14189,0	709,5
Dez	5979	192871	13501,0	675,0

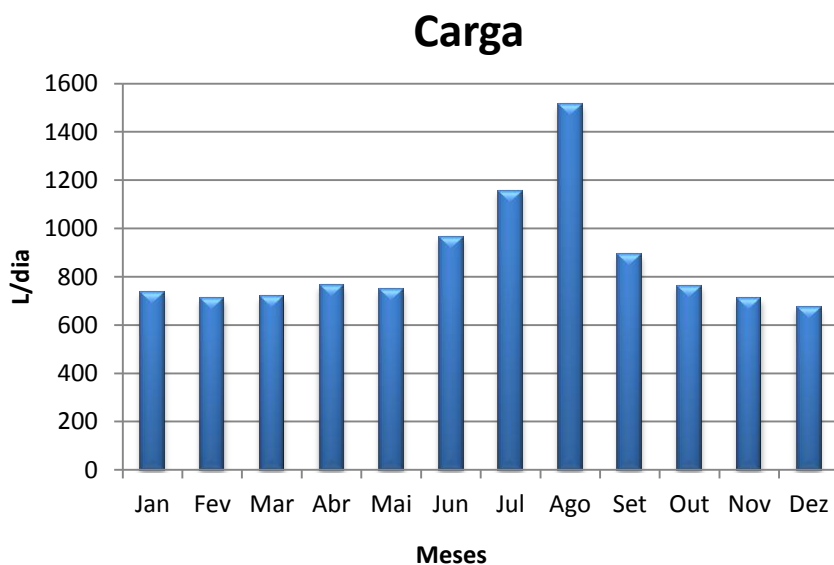


Figura 4.17 - Carga (L/dia) para cada mês.

Estes consumo de água foram definidos para uma produção durante 8h/dia (8h – 16h). Relativamente à temperatura da água assumiu-se que a temperatura da água do depósito de abastecimento era de 45° e que se queria elevar a uma temperatura de 85°, ou seja, com um diferencial de temperatura de 40° (Anexo IV).

• Análise Energética

Da análise energética deste sistema obteve-se o seguinte relatório da análise energética (output) (figura 4.18), em que se pode verificar que para uma carga de 14.671 kWh, 12.238 kWh são fornecidos pelo sistema solar e 2.433 kWh pelo sistema de apoio.

Os colectores solares apresentam uma produtividade de 271 kWh/m² colector, e o sistema apresenta um rendimento de 17% e uma fracção solar de 83,4%, tudo dentro dos parâmetros definidos nos pressupostos do dimensionamento.

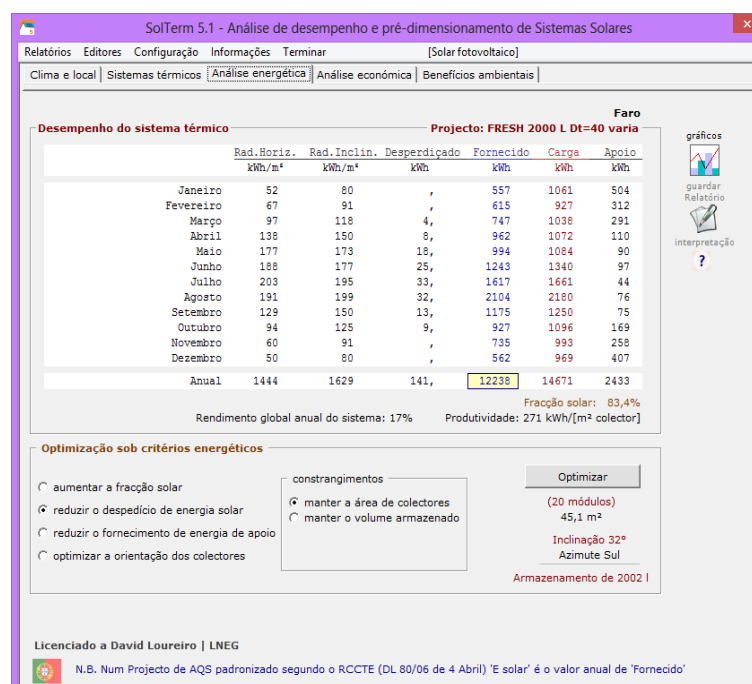


Figura 4.18 – Relatório de análise energética (SolTerm, 2012).

Na figura 4.19 pode-se observar que a carga é em grande parte (cerca de 83%) satisfeita pela energia fornecida pelo sistema solar, e que o sistema de apoio é mais utilizado no Inverno (cerca de 17%), quando o sistema solar não é suficiente para suprir as necessidades de água quente (figura 4.20).

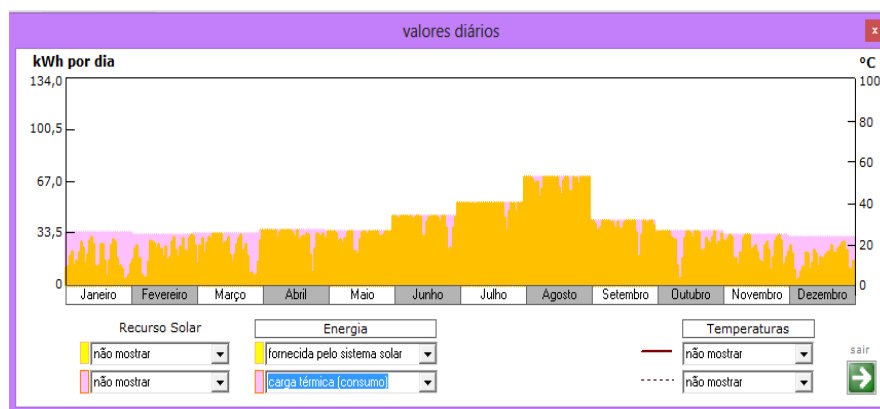


Figura 4.19 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga (SolTerm, 2012).

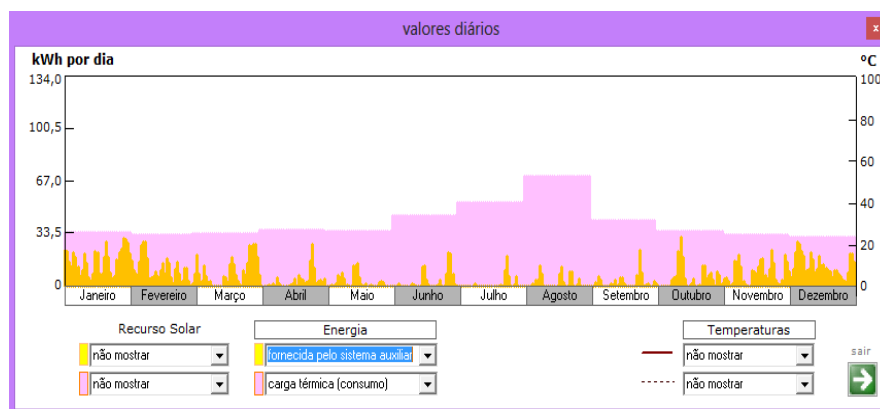


Figura 4.20 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema de apoio e a carga (SolTerm, 2012).

- Benefícios ambientais

Em termos de benefícios ambientais, verifica-se um consumo de energia fóssil evitado de 73,83 GJ/ano, e em relação às emissões de gases com efeito de estufa são evitadas 4,53 ton CO₂ equivalente/ano.

- Análise energética

De seguida, fez-se exactamente a mesma configuração mas para um depósito de 3000 L, para ver qual a melhor alternativa, e obteve-se o seguinte relatório da análise energética (output) (figura 4.21), em que se pode verificar que para uma carga de 14.671 kWh, 11.408 kWh são fornecidos pelo sistema solar e 3.264 kWh pelo sistema de apoio.

Os colectores solares apresentam uma produtividade de 253 kWh/m² colector, e o sistema apresenta um rendimento de 16% e uma fracção solar de 77,8%, tudo dentro dos parâmetros definidos nos pressupostos do dimensionamento.

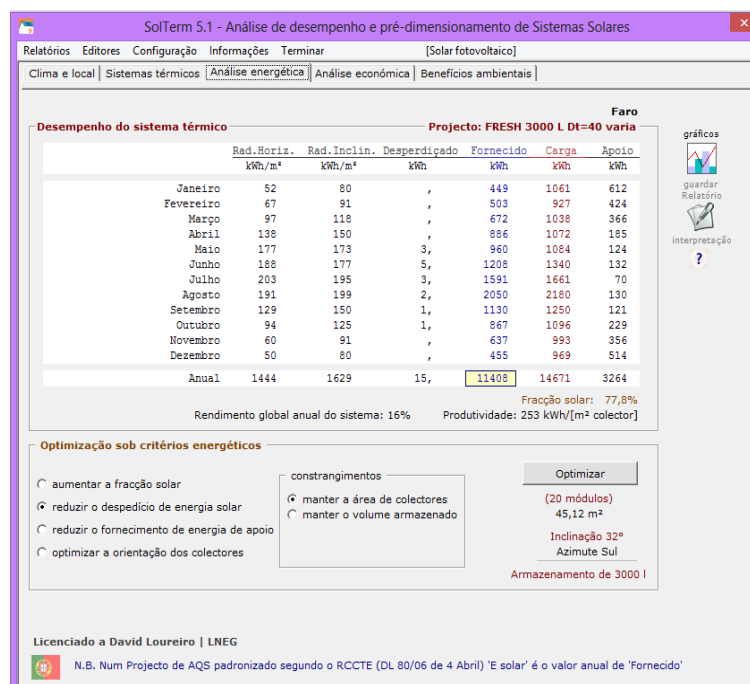


Figura 4.21 - Output análise energética (SolTerm, 2012).

Na figura 4.22 pode-se observar que a carga também é em grande parte (cerca de 77%) satisfeita pela energia fornecida pelo sistema solar, e que o sistema de apoio é mais utilizado do que em relação ao depósito de 2000 L (cerca de 23%) (figura 4.23).

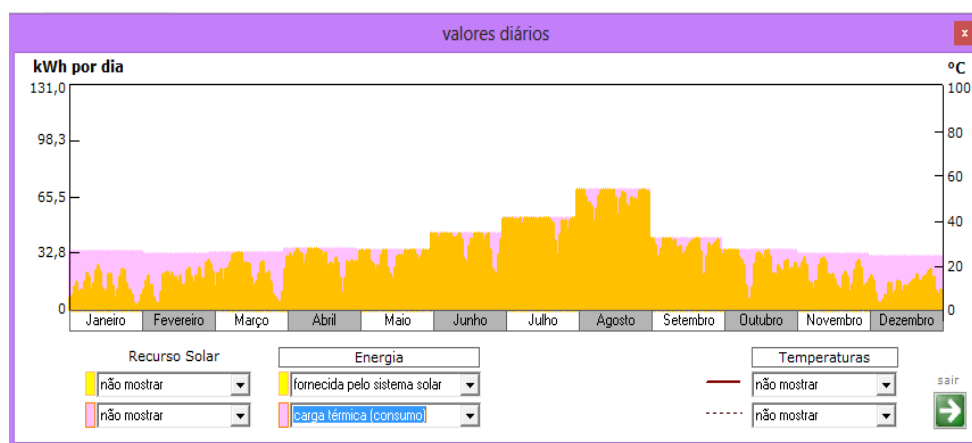


Figura 4.22 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga (SolTerm, 2012).

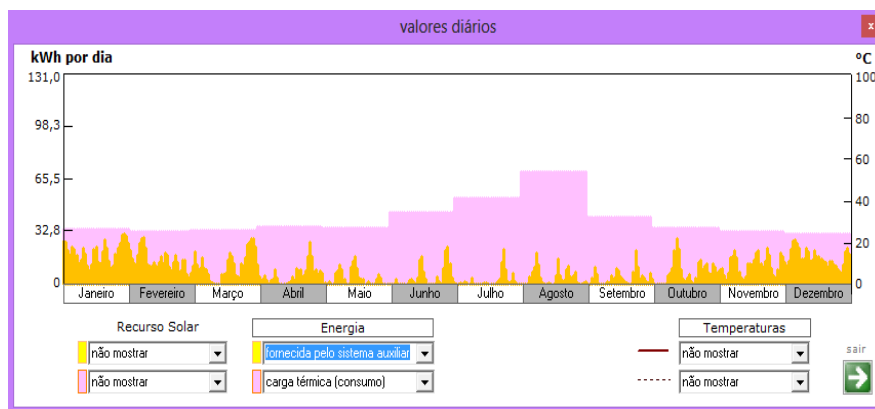


Figura 4.23 - Relação entre a energia fornecida pelo sistema de apoio e a carga (SolTerm, 2012).

• Benefícios Ambientais

Em termos de benefícios ambientais, verifica-se um consumo de energia fóssil evitado de 68,82 GJ/ano, e em relação às emissões de gases com efeito de estufa são evitadas 4,22 ton CO₂ equivalente/ano.

Analisando estas duas configurações de um modo geral (quadro 4.4), conclui-se que o depósito de 2000 L possui características que a fazem sobressair como uma melhor escolha.

Embora a configuração com o depósito de 3000 L tenha menor energia desperdiçada, tem uma energia fornecida menor e um maior fornecimento da energia de apoio. Já a configuração com o depósito de 2000 L, embora tenha um maior desperdício de energia, este é inferior a 2% e por isso não é muito significativo; e tem uma maior fracção solar, maior produtividade, maior energia fornecida e menor fornecimento de energia de apoio. Relativamente aos benefícios ambientais, a configuração de 2000 L iria evitar mais emissões de gases com efeito de estufa, bem como evitar um maior consumo de energia fóssil. Por isso, considera-se a configuração com o depósito de 2000 L uma melhor opção a implementar.

Quadro 4.4 - Comparação das duas configurações.

	Depósito 2000 L	Depósito 3000 L
Fracção solar (%)	83,4	77,8
Produtividade (kWh/m ²)	271	253
Rendimento (%)	17	16
Desperdiçado (kWh)	141	15
Fornecido (kWh)	12238	11408
Apoio (kWh)	2433	3264
Consumo de energia fóssil evitado (GJ/ano)	73,83	68,82
Emissões de GEE evitadas (ton CO ₂ eq/ano)	4,53	4,22

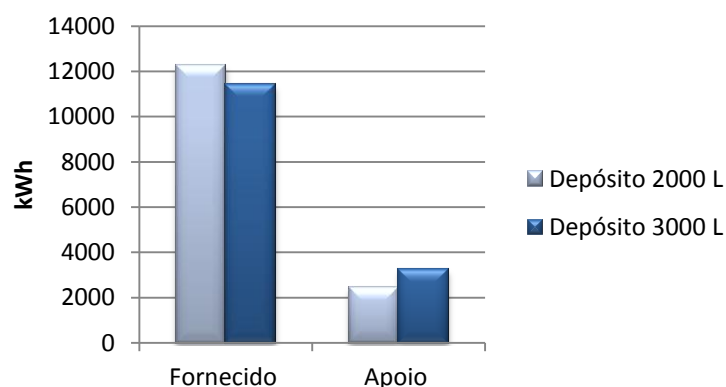


Figura 4.24 - Comparação das duas configurações.

Embora se tenha seleccionado a configuração com o depósito de 2000 L, por todas as razões já enumeradas, é necessário ter em atenção que, embora esta situação não tenha sido avaliada do ponto de vista do programa SolTerm, em situações esporádicas em que haja vários dias seguidos sem sol, a configuração com o depósito de 3000 L seria uma melhor opção, mesmo que isso represente um aumento da energia do sistema de apoio, simplesmente porque é capaz de armazenar uma maior quantidade de água disponível para a população.

4.3.5. Dimensionamento do sistema HDH

Uma vez que o protótipo, com um volume de 1 m^3 , está dimensionado para uma produção média de 150 L/dia , como descrito acima, e a necessidade hídrica máxima estimada para a Ilha da Culatra é de cerca de 1500 L/dia , é necessário redimensionar esta unidade de modo a conseguir produzir esta quantidade de água. Por isso sugere-se a utilização de uma unidade de dessalinização com um volume de 10 m^3 .

4.3.6. Funcionamento do sistema

Sugere-se que a captação de água do mar não seja feita directamente a partir do mar, mas a partir de um furo com profundidade de 40 metros (embora necessite de estudos mais detalhados no local), através de um sistema de electro-bombagem que funciona com recurso a energia fotovoltaica (se quisermos que seja autónomo). Posteriormente a água captada é sujeita a um pré-tratamento com filtros de areia, que remove as impurezas contidas na água (particularmente os sólidos em suspensão) e é depois armazenada num reservatório de água salgada, ficando disponível para ser dessalinizada. De seguida a água entra no sistema de HDH, mais especificamente no condensador, onde é pré-aquecida. Seguidamente é aquecida através da água produzida no sistema solar e segue novamente para o sistema de HDH, mas desta vez para o evaporador, onde aquece e evapora, transferindo o vapor de água novamente para o condensador, onde a água é colhida como água doce. Esta água doce é sujeita a um pós-tratamento que inclui a desinfecção e neutralização do pH. Após estas fases a água é armazenada num reservatório de água potável para que possa ser consumida pela população. A salmoura, é rejeitada num ponto mais adequado tendo em conta as características da salmoura e do local, de modo a minimizar o impacto desta descarga.

A figura 4.25 mostra o layout da instalação de dessalinização.

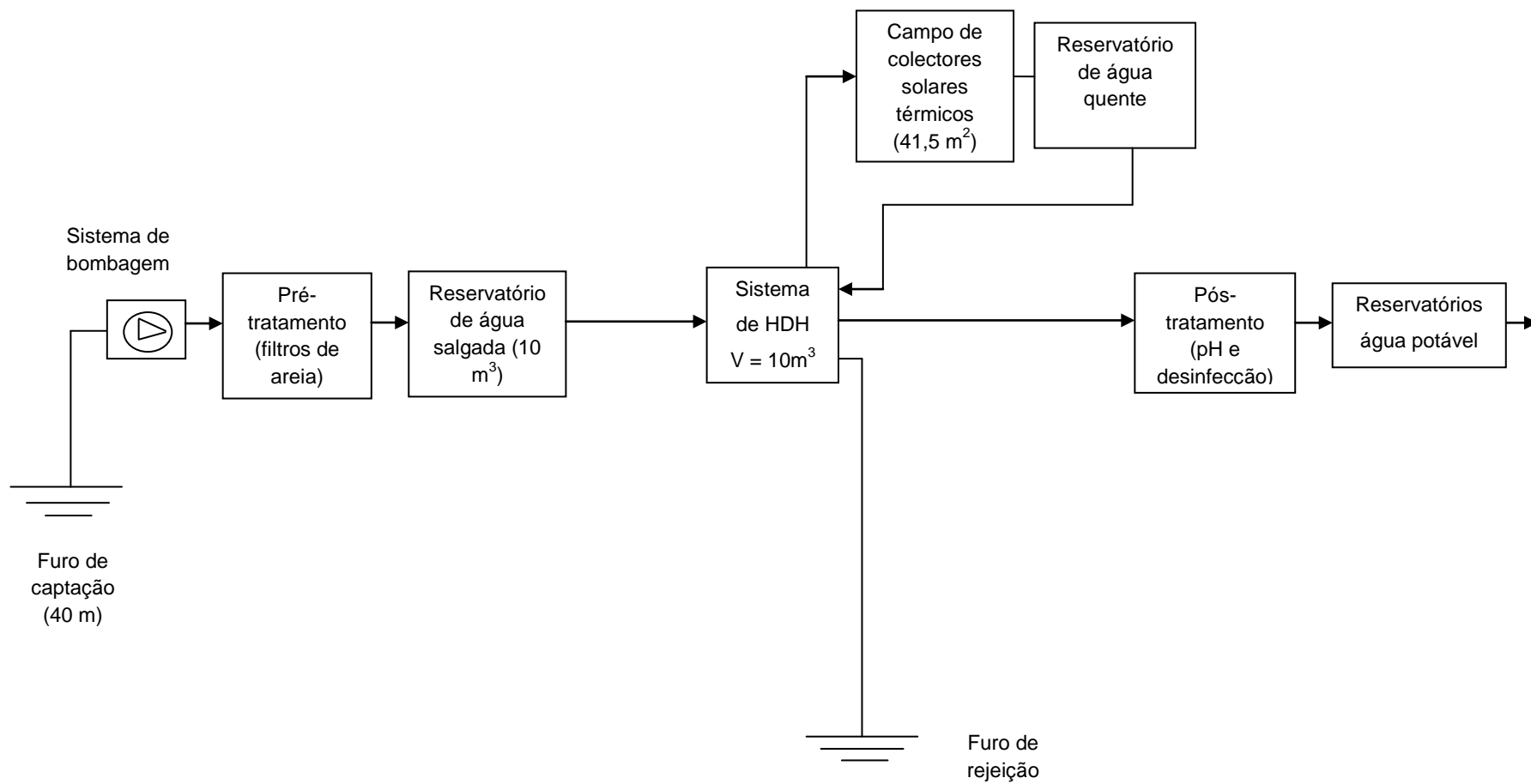


Figura 4.25 - Layout da instalação de dessalinização.

De modo a que a instalação esteja próxima da população e da água do mar (costa), sem afectar o dia-a-dia da população e sem criar muito impacte visual, sugere-se que a instalação fique localizada onde indica a figura 4.26.



Figura 4.26 – Localização da instalação de dessalinização (Google Maps, 2013).

Sugere-se que este sistema funcione separado do sistema de abastecimento de água da rede, uma vez que a água produzida se destina exclusivamente para consumo humano, uma vez que esta água é de boa qualidade e seria um desperdício utilizar esta água para consumo sanitário.

Esta instalação é versátil, isto é, pode funcionar como abastecimento da população no dia-a-dia (não suprimindo as necessidades hídricas totais), em alturas em que a necessidade de água é maior ou em que o abastecimento de água da rede não esteja a funcionar, utilizar um dos reservatórios (uma vez que estes são portáteis) num dos elementos urbanos que considerem que mais necessita de água para o seu funcionamento, por exemplo, a escola básica.

Esta solução poderá permitir que a população racionalize a água da forma que considerar mais pertinente de forma a adaptá-la às suas necessidades.

5. Conclusões

Relativamente aos capítulos I e II pode-se concluir que em muitos países, principalmente os países em desenvolvimento, a escassez física de água é uma realidade. Portugal não apresenta escassez física de água, contudo poderá ver os níveis das suas reservas de água diminuírem num futuro próximo. Por estes motivos a dessalinização tem vindo a ser utilizada como uma fonte de água potável disponível para as populações, com cerca de 65% das instalações de dessalinização estão localizadas no Médio Oriente. Actualmente, a capacidade mundial instalada é de 80 Mm³/dia de água dessalinizada e prevê-se que esta continue a aumentar. O uso de energias renováveis associado as tecnologias de dessalinização tem vindo a tornar-se uma alternativa viável em detrimento dos sistemas convencionais, especialmente em países com abundantes fontes de energias renováveis e com falta de acesso a formas de energia convencionais, embora estes sistemas estejam mais direccionados para utilização em comunidades remotas.

Neste trabalho, abordou-se de forma mais aprofundada a tecnologia de humificação-desumificação por energia solar térmica uma vez que é uma tecnologia que ainda está em fase de investigação de desenvolvimento, e portanto ainda não é muito explorada em termos comerciais. Conclui-se que dos sistemas de HDH, o mais eficiente a nível energético é o sistema de multi-efeito de ar fechado, água aberta de água aquecida. Porém, considera-se necessário realizar mais estudos para demonstrar o potencial desta tecnologia.

Após levantamento de informações sobre as zonas costeiras seleccionou-se a Ilha da Culatra como caso de estudo, fez-se um levantamento das características do local e clima e posteriormente efectuou-se o dimensionamento de um sistema de dessalinização solar de humificação-desumificação. Concluiu-se que a instalação de um sistema de dessalinização solar de humificação-desumificação pode ser uma alternativa viável de abastecimento de água. É necessário referir que este sistema foi apenas dimensionado para produzir água para consumo humano e que não irá suprir as necessidades totais de água, apenas uma pequena parte. Embora o volume de água produzida seja reduzido, esta abordagem poderá ser bastante útil em períodos em que o sistema de abastecimento de água não funcione, possibilitando que a comunidade não fique totalmente sem acesso a água para as suas necessidades básicas.

De um modo geral conclui-se que a dessalinização é uma forma interessante de abastecimento de água, todavia considera-se necessário que antes de tomar a decisão de implementar um sistema de dessalinização, seja feita uma avaliação do local onde vai ser implementado o sistema, das necessidades de consumo de água, disponibilidade de fontes de energia renováveis, disponibilidade e qualidade da água captada, bem como dos impactes ambientais, sociais e económicos. Só após avaliação de todos estes parâmetros

se pode decidir qual a melhor tecnologia a aplicar, o seu modo de funcionamento e efectuar um dimensionamento correcto do sistema.

Relativamente à tecnologia HDH, embora ainda esteja em estágio de investigação, esta pode ser considerada uma tecnologia promissora para centrais de dessalinização com recurso a energia solar, e aplicável para sistemas de pequena escala; isto está relacionado como facto desta tecnologia operar a baixas temperaturas, poder ser combinada com energias renováveis, e ser uma tecnologia simples. A sua principal desvantagem é o facto de ainda ser necessário otimizar os diferentes sistemas de HDH de modo a melhorar os seus parâmetros de performance.

Conclui-se que os impactes da dessalinização, desde que correctamente analisados do ponto de vista ambiental, social e energético podem ser contornados de modo a encontrar uma solução alternativa, por exemplo, relativamente ao elevado consumo de energia pode optar-se por utilizar energias renováveis.

De modo a complementar a avaliação do potencial de dessalinização solar, seria também fundamental realizar uma análise económica da aplicação desta tecnologia, porém para analisar correctamente a vertente económica são necessários estudos mais aprofundados, o que seria tema para todo um outro trabalho.

6. Referências bibliográficas

Aguiar, R., Carvalho, M.J. (2012). *Manual de instalação e utilização do software SolTerm*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. Lisboa.

Araújo, A.C.S.P.A. (2013). “Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água”. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica. 125 pp.

Benito, T.P. (2010). “Práticas de energia solar térmica”. 1ª Edição, Publindústria, Porto.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 164. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 108/2010 de 13 de Outubro. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 199. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

El-Dessouky, H.T., e Ettoney, H.M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*. 1ª Edição, Elsevier Science B.V. Holanda.

El-Ghonemy, A.M.K. (2012). “Water desalination systems powered by renewable energy sources: Review”. *Renewable and sustainable energy reviews*, **16**: 1537-1556.

El-Naas, M.H. (2011). “Teaching water desalination through active learning”. *Education for chemical engineers*, **6**: 97-102.

Guerreiro, M.L.F.B. (2009). *Dessalinização para produção de água potável – Perspectivas para Portugal*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 80 pp.

Kennish, M.J. (2001). *Practical handbook of marine science*. 3ª Edição, CRC Press LLC. Florida.

Mathioulakis, E., Panaras, G., e Belessiotis, V. (2012). “Experience gained through the implementation and operation of a solar humidification—dehumidification desalination plant”. *Desalination and water treatment*, **21**: 1-3, 375-384.

Mathioulakis, E., Belessiotis, V., e Delyannis, E. (2007). “Desalination by using alternative energy: review and state-of-the-art”. *Desalination*, **203**: 346-365.

Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., e Khaled, A. (2011). “Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies”. *Desalination*, **266**: 263-273.

Narayan, G. P., Sharqawy, M. H., Summers E. K., Lienhard, J. H., Zubair, S. M., e Antar M. A. (2010). "The potential of solar-driven humidification–dehumidification desalination for small-scale decentralized water production". *Renewable and sustainable energy reviews*, **14**: 1187–1201.

Pereira, F.A.S, e Oliveira, M.A.S. (2001). *Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica*. 1ª Edição, Publindústria. Porto.

Pires, V., Silva, A., e Mendes, L. (2010). "Riscos de secas em Portugal Continental". *Territorium*, **17**: 27-34.

Santos, C., Paulo-Martins, C., Barreiros, A., Pestana, P., Cardoso, A., e Freire, A. (2006). "Quality assessment of water and sediments of eight submarine outfalls – West coast of Portugal".

SelfWater (2010). "Tecnologias de dessalinização com sistemas solares e o seu estágio de desenvolvimento tecnológico". Projecto QREN.

Semiat, R. (2000). "Desalination: present and future". *International water resources association – Water international*, **25**: 54-65.

Shatat, M., Worall M., Riffat, S. (2013). "Opportunities for solar water desalination worldwide: Review". *Sustainable cities and society*, **9**: 67-80.

Sousa, B.D.B. (2010). "Intervenção e requalificação das ilhas barreira e ilhotes da Ria Formosa – A memória e transformação dos núcleos urbanos". Tese de Mestrado em Arquitectura Paisagista. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 147 pp.

Tsiourtis, N. X. (2001). "Desalination and the environment". *Desalination*, **141**: 223-236.

Werner, M., Schäfer, A.I. (2007). "Social aspects of a solar-powered desalination unit for remote Australian communities". *Desalination*, **203**: 375-393.

• Webgrafia

Águas do Algarve. (2010). *Sessão de esclarecimentos do abastecimento das Ilhas Barreira*. Disponível em: <<http://aguasdoalgarve.pt/noticia.php?id=291>>. Acesso em: 9 de Julho de 2013

Bota, M. (2009). Entrevista ao Jornal "O Algarve" sobre dessalinização. Disponível em: http://www.mendesbota.com/menu_testemunhos/pdf/20090312e.pdf. Acesso em: 13 de Setembro de 2013

Caracterização do sistema de dessalinização do Alvor. (2007). Disponível em: <http://www.rhturismo.net/index.php?option=com_content&task=category&id=15>. Acesso em: 30 de Setembro de 2013

Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano. (2011). *Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar – Marinha Grande*. Disponível em: <<http://www.pooc-omg.cedru.pt/index.php/area-de-intervencao>>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

Comissão Europeia - *Ecologize os seus hábitos*. Disponível em: <<https://infoeuropa.euroid.pt/files/database/000034001-000035000/000034658.pdf>>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

Documento da FAO – *Coping with water scarcity - challenge of the twenty-first century*, 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/docs/escarcity.pdf>>. Acesso em 9 de Julho de 2013

European Environmental Agency (2008). *Impacts of Europe's changing climate – 2008 – Indicator-based assessment, Report nº 4/2008*. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4>. Acesso em: 16 de Outubro de 2013

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (2013). *Sistemas de abastecimento de água portugueses demonstram elevado nível de fiabilidade*. Disponível em: <<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=&Section=consumidores&FolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CConsumidores%5CComunicados&GenericContentId=0>>. Acesso em: 9 de Setembro de 2013

European Solar Thermal Industry Federation. (2013). *Solar thermal markets in Europe - Trends and market statistics 2012*. Disponível em: <http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/Solar_Thermal_Markets%202012.pdf>. Acesso em: 10 de Setembro de 2013

ICN. (2005). *Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa – Estudos de caracterização*. Disponível em: <http://www.icn.pt/popnrf/relatorio/1/5_ASP_FISICOS/57_Clima.pdf>. Acesso em: 11 de Setembro de 2013

IGA. Caracterização do sistema de dessalinização de Porto Santo. Disponível em: <<http://iga.igserv.pt/agua-no-porto-santo.html>>. Acesso em: 30 de Setembro de 2013

Instituto Nacional da Água. (2013). *Consumo de água por sector em Portugal*. Disponível em:

<<http://portaldaagua.inag.pt/PT/InfoUtilizador/UsoEficiente/Pages/ConsumoPortugal.aspx>>.

Acesso em: 24 de Setembro de 2013

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. *Temperatura do ar e precipitação, normais climatológicas (1981-2010)*. Disponível em:

<<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/008/>>. Acesso em: 11 de Setembro de 2013

Mage Water Management. (2004). *Watercone – The Yemen Pilot Project*. Disponível em:<http://www.mage-watermanagement.com/uploads/media/MWM_Yemen-Flyer_EN_01.pdf>. Acesso em: 24 de Setembro de 2013

Mendes, J.F. (2010). *Apresentação de slides de Energia Solar Térmica - Ponto da situação e caminhos para 2020*. Disponível em: <http://energia2020.fc.ul.pt/energia2020/apresentacoes/Joao_Farinha_Mendes_Energia2020.pdf>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

PORDATA – Base de dados Portugal Contemporâneo. Disponível em: <<http://www.pordata.pt>>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

PRODES. *Produtos para dessalinização comercial alimentado por energia renovável*. Disponível em: <http://www.itccanarias.org/web/servicios/agua/documentos/Productos%20comerciales_PRODES.pdf>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

Roriz, L. (2008-2009). *Slides das aulas de Climatização de Edifícios, ano lectivo* Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf>. Acesso em: 27 de Setembro de 2013

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. (2012). *Situação das bacias hidrográficas em 2012*. Disponível em: <http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3&sbaciaid=&szonas=&salbufeirasimbolo=&n_mesBOLETIM=04&n_anoH=2011>. Acesso em: 3 de Setembro de 2013

Sistema Nacional de Informação do Ambiente. (2013). *Atlas do Ambiente*. Disponível em: <<http://sniamb.apambiente.pt/atlas/>>. Acesso em: 11 de Setembro de 2013

UNEP. (2008). *Vital Water Graphics- An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*. Disponível em: <<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/rubrique42.html>>. Acesso em: 27 de Setembro de 2013

United Nations. (2010). *World Population Prospects . The 2010 Revision - Volume I: Comprehensive Tables*. Disponível em: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/WPP2010/WPP2010_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf>. Acesso em: 27 de Setembro de 2013

United Nations Development Programme. (2006) *Relatório do desenvolvimento humano 2006, Capítulo 4*. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/media/05-Chapter4_PT.pdf>. Acesso em: 22 de Julho de 2013

Universidade de Aveiro (2006). *Plano Municipal da Água*. Disponível em: <<http://ambiria.regiaodeaveiro.pt/Page.aspx?id=6>>. Acesso em: 22 de Maio de 2013

7. Anexos

Anexo I – Parâmetros biológicos da água de consumo humano

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0	Número/100 ml.
Enterococos	0	Número/100 ml.

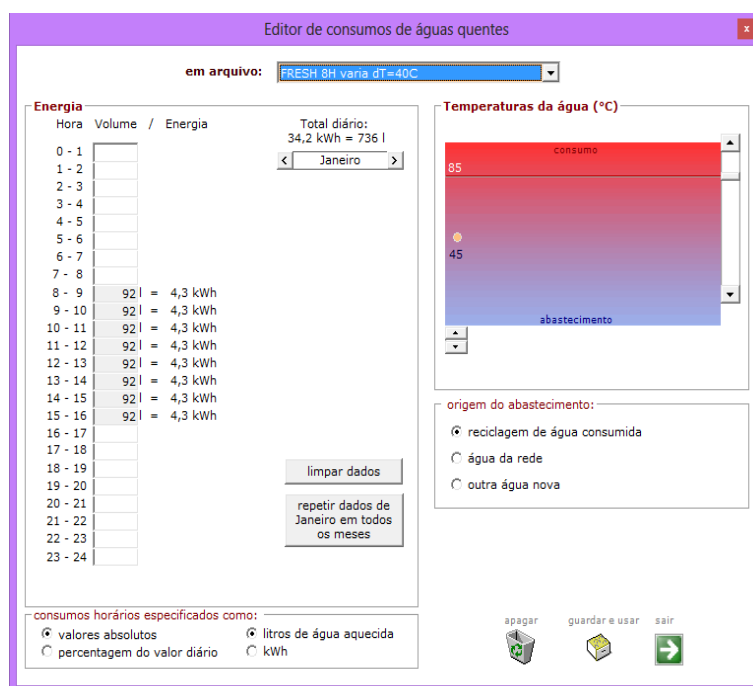
Anexo II – Parâmetros indicadores da água de consumo humano

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
Alumínio	200	$\mu\text{g/l Al}$
Amônio	0,50	mg/l NH_4
Cálcio	-	mg/l Ca
Cloretos	250	mg/l Cl
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0	N/100 ml
Cor	20	mg/l PtCo
Condutividade	2 500	$\mu\text{S/cm a } 20^\circ\text{C}$
Dureza total	-	mg/l CaCO_3
pH	$\geq 6,5 \text{ e } \leq 9$	unidades de pH
Ferro	200	$\mu\text{g/l Fe}$
Magnésio	-	mg/l Mg
Manganês	50	$\mu\text{g/l Mn}$
Microcistinas — LR total	1	$\mu\text{g/l}$
Cheiro, a 25°C	3	Factor de diluição
Oxidabilidade	5	mg/l O_2
Sulfatos	250	mg/l SO_4
Sódio	200	mg/l Na
Sabor, a 25°C	3	Factor de diluição
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 22°C
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 37°C
Bactérias coliformes	0	N/100 ml
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal	mg/l C
Turvação	4	UNT
α -total	0,5	Bq/l
β -total	1	Bq/l
Tritio	100	Bq/l
Dose indicativa total	0,10	mSv/ano
Desinfectante residual	-	mg/l

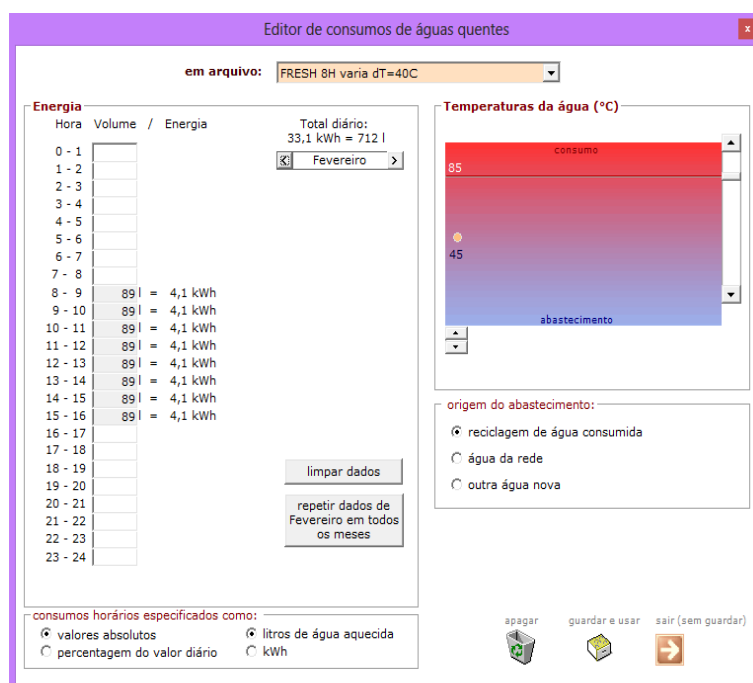
Anexo III – Parâmetros químicos da água de consumo humano

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
Acrilamida	0,10	µg/l
Antimônio	5,0	µg/l <i>Sb</i>
Arsênio	10	µg/l <i>As</i>
Benzeno	1,0	µg/l
Benzo(a)pireno	0,010	µg/l
Boro	1,0	mg/l <i>B</i>
Bromatos	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 10 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l <i>BrO₃</i>
Cádmio	5,0	µg/l <i>Cd</i>
Crômio	50	µg/l <i>Cr</i>
Cobre	2,0	mg/l <i>Cu</i>
Cianetos	50	µg/l <i>Cn</i>
1,2 dicloroetano	3,0	µg/l
Epícloridrina	0,10	µg/l
Fluoretos	1,5	mg/l <i>F</i>
Chumbo	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2013). 10 (após 25 de Dezembro de 2013).	µg/l <i>Pb</i>
Mercurio	1	µg/l <i>Hg</i>
Níquel	20	µg/l <i>Ni</i>
Nitratos	50	mg/l <i>NO₃</i>
Nitritos	0,5	mg/l <i>NO₂</i>
Pesticida individual	0,10	µg/l
Pesticidas — total	0,50	µg/l
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	0,10	µg/l
Selênio	10	µg/l <i>Se</i>
Tetracloroetano e tricloroetano	10	µg/l
Trihalometanos — total (THM)	150 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 100 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l
Cloreto de vinilo	0,50	µg/l

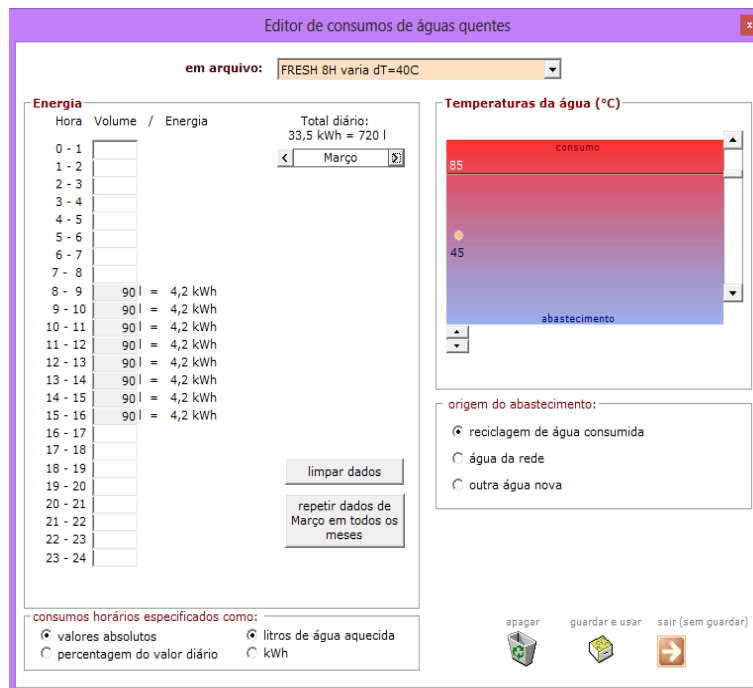
Anexo IV – Cargas para todos os meses (SolTerm)



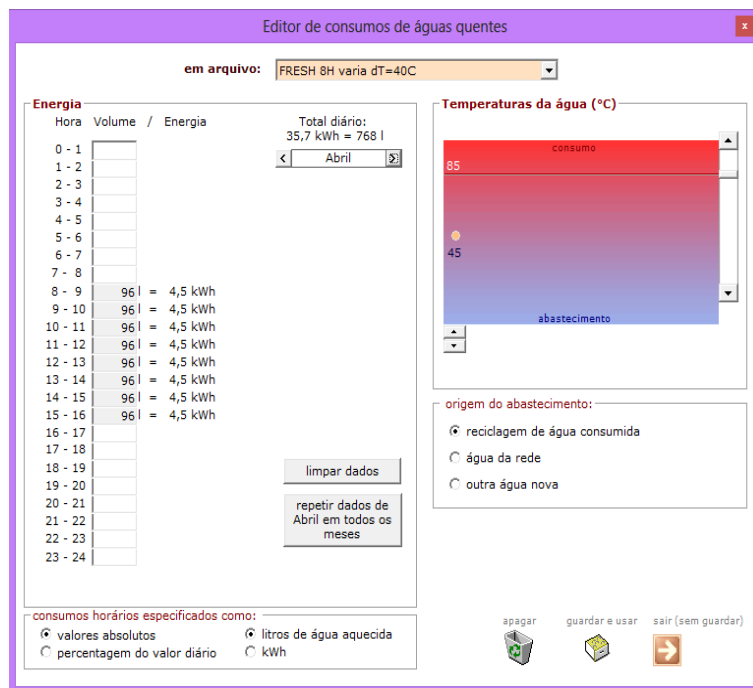
Distribuição da carga definida para o mês de Janeiro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



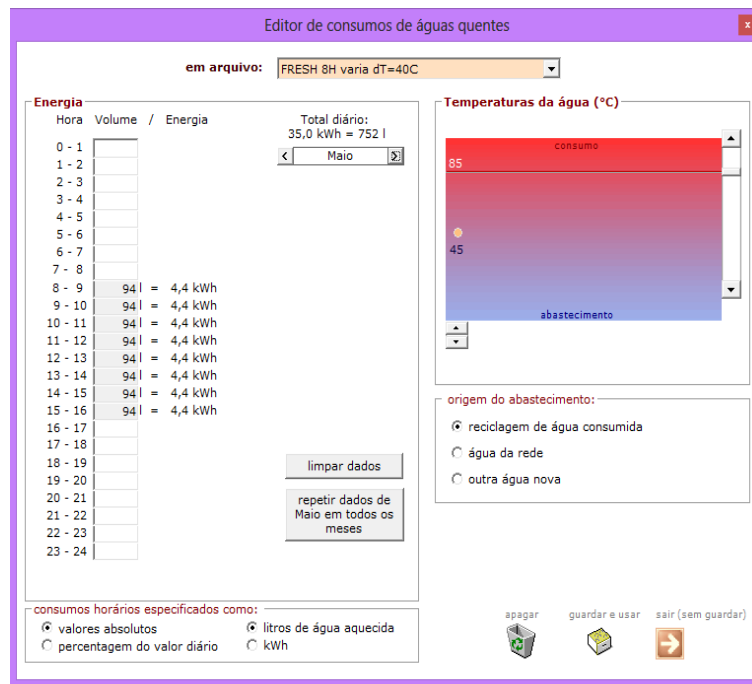
Distribuição da carga definida para o mês de Fevereiro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



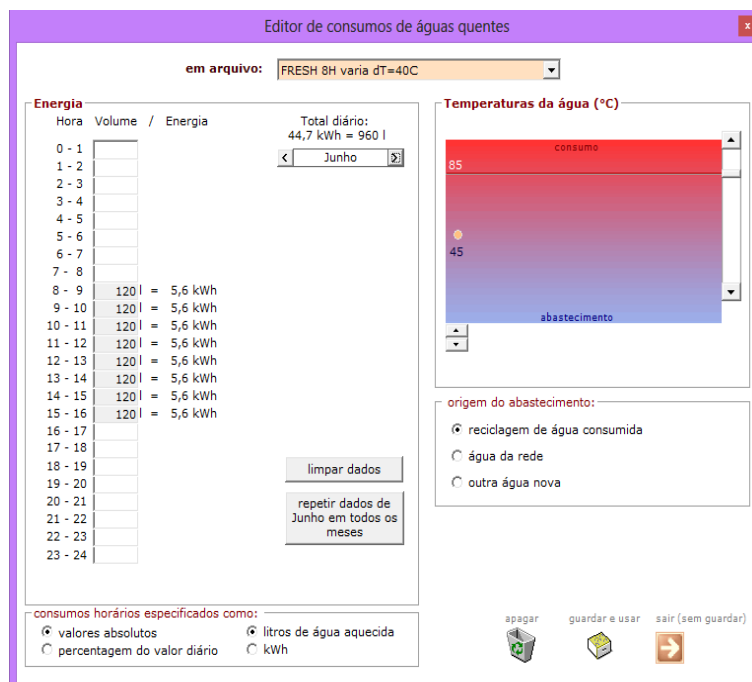
Distribuição da carga definida para o mês de Março, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



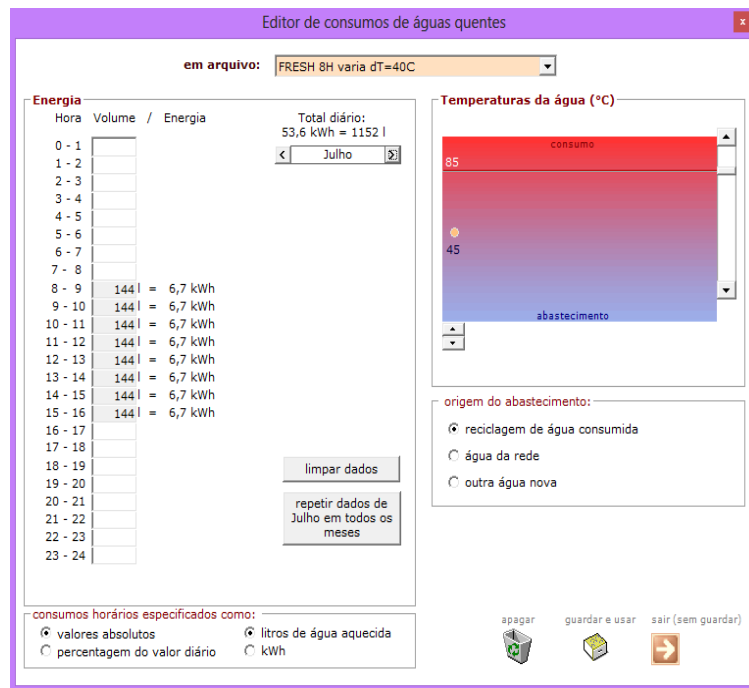
Distribuição da carga definida para o mês de Abril, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



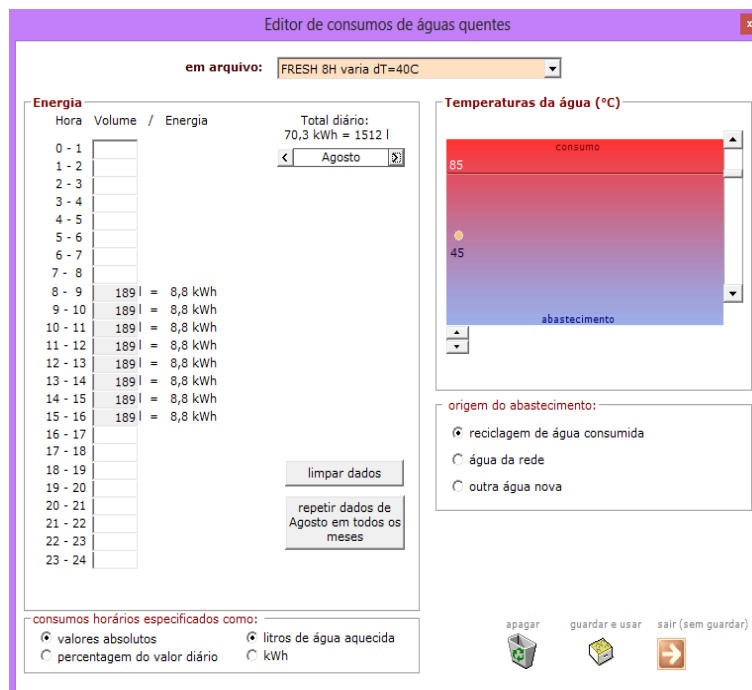
Distribuição da carga definida para o mês de Maio, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



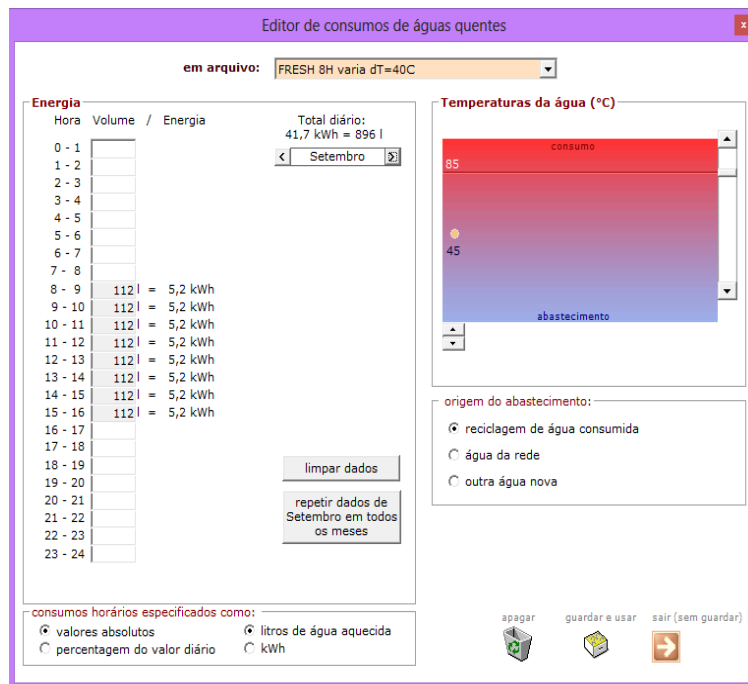
Distribuição da carga definida para o mês de Junho, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



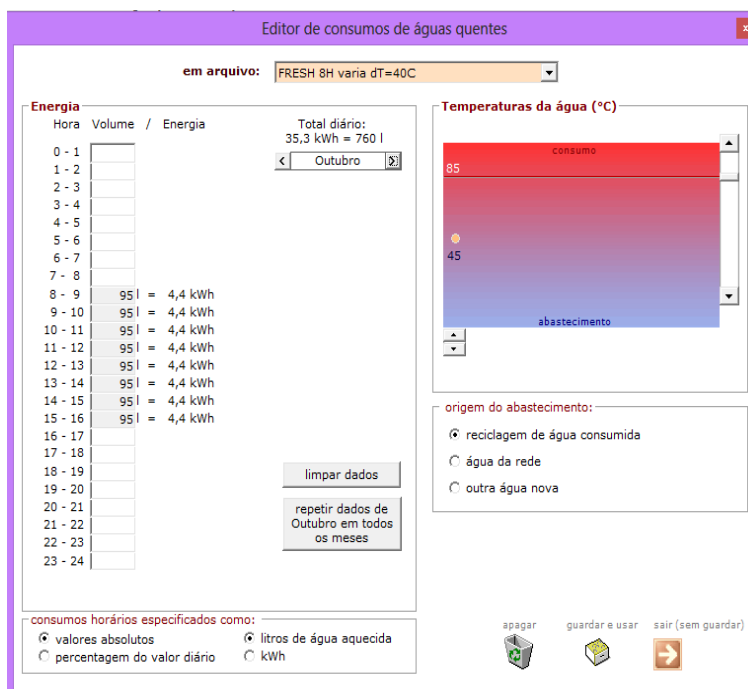
Distribuição da carga definida para o mês de Julho, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



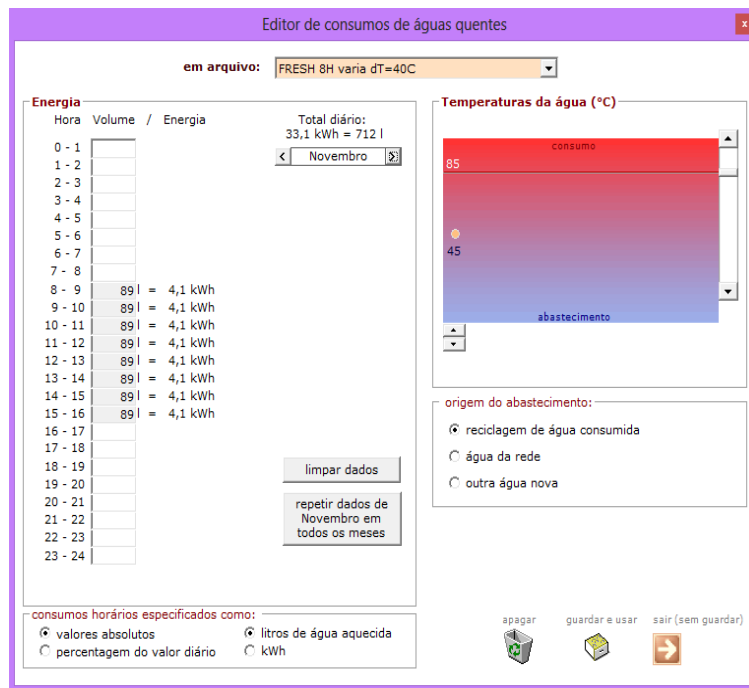
Distribuição da carga definida para o mês de Agosto, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



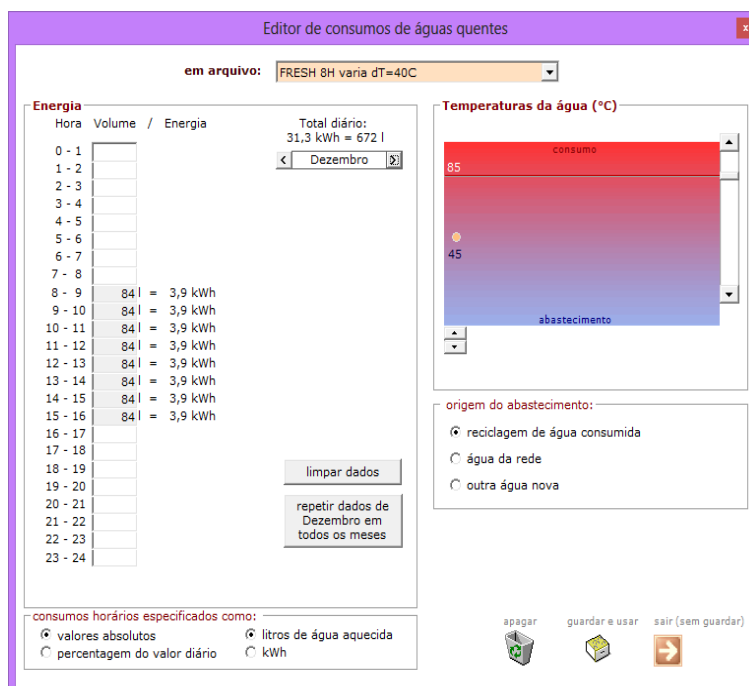
Distribuição da carga definida para o mês de Setembro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



Distribuição da carga definida para o mês de Outubro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



Distribuição da carga definida para o mês de Novembro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo



Distribuição da carga definida para o mês de Dezembro, e temperatura da água de abastecimento e de consumo